



TUGAS AKHIR - SF 141501

**ANALISA FAKTOR PENGARUH JARAK
TERHADAP BESAR KECEPATAN AKSES
PADA ARAH *DOWNLINK* DALAM SISTEM
JARINGAN KOMUNIKASI LTE**

**FADIL ADAM SURYA BASRIL
NRP 1112 100 072**

**Pembimbing I
Dr. Melania Suweni Muntini, MT**

**Pembimbing II
Rino Prasetyanto, ST**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2016**



FINAL PROJECT - SF 141501

ANALYSIS OF DISTANCE FACTOR EFFECT TO THE SPEED ACCESS IN THE SYSTEM DOWNLINK LTE NETWORK COMMUNICATIONS

**FADIL ADAM SURYA BASRIL
NRP 1112 100 072**

**Advisor I
Dr. Melania Suweni Muntini, MT**

**Advisor II
Rino Prasetyanto, ST**

**PHYSICS DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2016**

**ANALISA FAKTOR PENGARUH JARAK
TERHADAP BESAR KECEPATAN AKSES PADA
ARAH *DOWNLINK* DALAM SISTEM JARINGAN
KOMUNIKASI LTE**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Fadil Adam Surya Basril
NRP 1112100072

Disetujui oleh Tim Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Melania Suweni Muntini MT
2. Rino Prasetyanto, ST



ANALISA FAKTOR PENGARUH JARAK TERHADAP BESAR KECEPATAN AKSES PADA ARAH *DOWNLINK* DALAM SISTEM JARINGAN KOMUNIKASI LTE

Nama : Fadil Adam Surya Basril
NRP : 1112100072
Jurusan : Fisika FMIPA ITS
Pembimbing : Dr. Melania Suweni Muntini, MT
Rino Prasetyanto, ST

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tugas akhir mengenai analisa faktor pengaruh jarak terhadap besar kecepatan akses pada arah *downlink* dalam sistem jaringan komunikasi LTE. Lokasi penelitian ini berada pada *cluster* 10, atau berada pada daerah Wiyung, Surabaya Selatan. Pada penelitian ini menggunakan metode *drive test*, yang kemudian hasilnya akan diolah dengan menggunakan pendekatan Shannon untuk menghitung besar kecepatan akses data secara teori yang kemudian akan dibandingkan dengan hasil data yang didapatkan pada penelitian. Kemudian menggunakan model Okumura Hata untuk menghitung besar *Path Loss* yang didapatkan dalam penelitian ini dan di bandingkan dengan pengaruh sifat sinyal terhadap propagasi gelombang pada saat sinyal ditransmisikan. Hasil dari penelitian ini adalah SINR berbanding lurus terhadap kecepatan akses data, ketika semakin besar nilai SINR, maka kecepatan akses data akan semakin cepat. *Overhead* pada penelitian ini untuk set A sebesar 27% sedangkan untuk set B sebesar 33%. Pengaruh jarak antara antenna pengirim dan penerima terhadap besar SINR berbanding terbalik, sedangkan *path loss* akan semakin besar apabila jarak antara antenna semakin jauh.

Kata kunci : *Downlink* LTE, *Path loss*, Propagasi Gelombang.

ANALYSIS OF DISTANCE FACTOR EFFECT TO THE SPEED ACCESS IN THE SYSTEM DOWNLIK LTE NETWORK COMMUNICATIONS

Name : Fadil Adam Surya Basril
NRP : 1112100072
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. Melania Suweni Muntini, MT
Rino Prasetyanto, ST

Abstract

Research has been performed about analysis of distance factor effect to the speed access in the system downlik LTE network communications. The location of this research are in cluster 10, or in the region of Wiyung, South Surabaya. In this research using the test drive, which result can be processed by using Shannon approach to calculate the speed access in theory which will then be compared with the data obtained in the field. Then by using Okumura Hata Model for calculated value of path loss which obtained in this research, and will compared due effect of character from signal by wave propagation when signal transmitted. Result from this research are, SINR proportional to the speed of data access, when greater value of SINR, then the data access speed will be faster. Overhead in this study to set A by 27%, while for the set B by 33%. The influence of the distance between transmitter and receiver antenna to a value of SINR inversely, while the path loss will be raise if the distance between the antenna farther.

Keywords : Downlink LTE, Path loss, Wave Propagation.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tulisan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Faktor Pengaruh Jarak Terhadap Besar Kecepatan Akses Pada Arah *Downlink* dalam Sistem Jaringan Komunikasi LTE.**

Salah satu tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi syarat kelulusan akademis program studi tingkat pendidikan sarjana (S-1) di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis sudah berusaha maksimal dengan kemampuan yang ada, dan penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis bersedia menerima kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak dan pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua penulis, keluarga penulis Bapak Besnedi, ME. AK dan Ibu Sri hayani serta kepada Bapak Dwi Heri Sukiswanto, SH dan Ibu Kurnia Dwi Lestari yang telah memberikan dukungan moril, doa dan materiil serta limpahan kasih sayang kepada penulis dan saudari-saudari penulis Siti Czafrani Pratiwi, SE, Siti Rahmi Nur Fathanah, S.ked, dan Siti Ambar Khalis.

Dalam kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng, selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Ibu Dr. Melania Suweni Muntini, MT, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, atas segala bimbingan,

pengarahan, dan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

3. Bapak Rino Prasetyanto, ST, selaku pembimbing Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih atas segala bimbingan, pengarahan, dan motivasi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Drs. Hasto Sunarno, M.Sc, selaku dosen wali penulis.
5. Ibu Fera selaku HRD PT. XL Axiata Surabaya. Terima kasih sudah menerima penulis berkerja sama di perusahaan XL.
6. Mas Adi, dan mas Luqman selaku tim *drive test*, atas bantuan dan arahan dalam pengambilan data pada Tugas Akhir ini. Kemudian untuk Mas Dion, Mas Armand, Mas Heri, Mbak Desi serta tim *network* dan radio pada PT. Huawei Tech Investment, dalam memberi arahan pada Tugas Akhir ini.
7. Terima kasih kepada Afyra Chairunnisa, Yulita Inayatus Shiddiqah, para penghuni Lab Multimedia, dan Lab Elka serta teman-teman Fisika angkatan 2012 atas dukungan dan waktunya untuk menemani penulis dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis berharap penulisan Tugas Akhir ini bermanfaat khususnya bagi penulis, dan dapat dimanfaatkan sebagai referensi yang membutuhkan, sebagai sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang yang berhubungan dengan Fisika, khususnya Instrumentasi.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika penulisan	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik.....	5
2.2 Propagasi Gelombang Elektromagnetik.....	7
2.2.1 Gelombang EM Pada <i>Free Space</i>	7
2.2.2 Gelombang EM Pada <i>Lossy Dielectrics</i>	8
2.2.3 Gelombang EM Pada Konduktor	9
2.2.4 Refleksi Dari Gelombang EM	11
2.2 Sinyal.....	12
2.2.1 Sinyal Analog.....	13
2.2.2 Sinyal Digital.....	15
2.2.3 Sinyal dalam domain frekuensi	16
2.3 Teknologi LTE	18
2.4 Multiple Antenna Techniques	18
2.5 OFDM	20
2.6 OFDMA	21
2.7 Gangguan-Gangguan Transmisi.....	21
2.7.1 Distorsi	21
2.7.2 Noise.....	22
2.8 AWGN	22
2.9 Signal to Interference-Noise Ration (SINR)	23
2.10 Kecepatan Akses Dalam Arah <i>Downlink</i>	24
2.11 Model Okumura-Hata.....	25

BAB III METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan	27
3.2 Proses Pengambilan Data	27

3.3 Proses Pengolahan Data	30
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	33
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Umum.....	35
4.2 SINR Terhadap Besar Kecepatan Akses	37
4.2.1 Lokasi Pada Set A	37
4.2.2 Lokasi Pada Set B.....	40
4.2.3 Analisa Perbandingan SINR Set A dan Set B	44
4.3 Perbandingan Perhitungan Kecepatan Akses Secara Teori dengan Data Lapangan.....	45
4.4 Pengaruh Besar Jarak terhadap SINR, dan <i>Path Loss</i>	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
LAMPIRAN.....	55
BIOGRAFI PENULIS.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perubahan panjang gelombang akibat melalui medium <i>lossy dielectric</i>	8
Gambar 2.2 Gelombang EM dalam <i>Skin depth</i>	10
Gambar 2.3 Masukan gelombang terhadap permukaan dua buah medium yang berbeda.....	11
Gambar 2.4 Sinyal analog (atas), sinyal digital (bawah)	13
Gambar 2.5 Sinyal analog dalam bentuk gelombang sinus (atas), sinyal analog komposit (tengah), dekomposisi sinyal komposit (bawah)	14
Gambar 2.6 Sinyal digital dalam bentuk tegangan listrik.....	15
Gambar 2.7 Representasi domain frekuensi dari gelombang sinus	17
Gambar 2.8 Perbandingan sinyal dalam domain waktu dan dalam domain frekuensi.....	18
Gambar 2.9 Konfigurasi jaringan MIMO	19
Gambar 2.10 Efisiensi spektral OFDM dibandingkan dengan modulasi multicarrier klasik: (a) spektrum sistem multicarrier klasik; (b) spektrum sistem OFDM.....	20
Gambar 3.1 Lokasi set A (biru) dan set B (merah).....	28
Gambar 3.2 Hasil data <i>drive test</i> dalam bentuk <i>Key Performance Indicator</i>	29
Gambar 3.3 Jarak antara antenna set B dengan lokasi uji.....	31

Gambar 4.1 wilayah <i>cluster</i> 10 XL Surabaya.....	35
Gambar 4.2 Lokasi set A	37
Gambar 4.3 Grafik perbandingan SINR terhadap besar kecepatan pada set A	39
Gambar 4.4 Lokasi set B.....	40
Gambar 4.5 Grafik perbandingan SINR dengan besar kecepatan pada set B.....	43
Gambar 4.6 Grafik perbandingan antara set A dengan set B.....	44
Gambar 4.7 Grafik perbandingan hasil kecepatan akses secara teori dengan secara riil pada set B	46
Gambar 4.8 Jarak antara antenna dengan lokasi uji pada set B ...	47
Gambar 4.9 Perbandingan SINR terhadap jarak antenna pada set antena B	48
Gambar 4.10 Perbandingan <i>path loss</i> dengan jarak antara antenna dengan lokasi uji pada set B	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spektrum Elektromagnetik	6
Tabel 3.1 Parameter SINR	28
Tabel 3.2 parameter uji beserta contoh data yang di olah	30
Tabel 4.1 Penamaan set antena dalam penelitian	36
Tabel 4.2 Lokasi uji <i>range</i> SINR terhadap set A.....	38
Tabel 4.3 Cuplikan data pada set A dengan <i>range</i> SINR 20-30	38
Tabel 4.4 Rata-rata besar kecepatan akses untuk setiap <i>range</i> SINR pada set A.....	39
Tabel 4.5 Lokasi uji <i>range</i> SINR terhadap set B.....	41
Tabel 4.6 Cuplikan data pada set B dengan <i>range</i> SINR 20-30 dB	42
Tabel 4.7 Rata-rata besar kecepatan akses untuk setiap <i>range</i> SINR pada set B.....	43
Tabel 4.8 Perbandingan hasil kecepatan akses secara teori dengan secara riil pada set A	45
Tabel 4.9 Perbandingan hasil kecepatan akses secara teori dengan secara riil pada set B	45

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Laporan Data Pada Set A	55
Lampiran 2.	Laporan Data Pada Set B	62
Lampiran 3.	Grafik Perbandingan SINR dengan Kecepatan Akses pada set A (atas), dan set B (bawah).....	70
Lampiran 4.	Grafik perbandingan hasil kecepatan akses secara teori dengan secara riil pada set A (atas), dan set B (bawah)	71
Lampiran 5.	Grafik perbandingan <i>Path Loss</i> dengan Jarak pada set A (atas), dan set B (bawah)	72
Lampiran 6.	Grafik perbandingan SINR dengan Jarak pada set A (atas), dan set B (bawah).....	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini telekomunikasi menjadi bagian yang tidak terpisahkan dalam kehidupan sehari-hari umat manusia, terutama pada telekomunikasi nirkabel. Jutaan perangkat telekomunikasi di dunia terhubung dengan internet dan melakukan transfer data dengan perangkat lain yang berada ditempat lain. Dengan adanya keinginan konsumen untuk mendapatkan pelayanan komunikasi yang lebih cepat, serta efisien untuk menunjang kegiatan telekomunikasi sehari hari, muncul berbagai inovasi teknologi seluler di dunia ini, salah satunya adalah teknologi *Long Term Evolution* (LTE).

Long Term Evolution (LTE) merupakan salah satu generasi teknologi telekomunikasi selular yang terbaru saat ini. Teknologi telekomunikasi LTE dapat memberikan kecepatan *uplink* hingga 50 megabit per detik (Mbps) dan kecepatan *downlink* hingga 100 Mbps. Sehingga LTE mampu membawa banyak manfaat bagi jaringan selular, dengan menunjang kegiatan telekomunikasi sehari hari. Dalam teknologi LTE terdapat istilah *throughput*, yang dapat diartikan kemampuan sebenarnya suatu jaringan dalam melakukan pengiriman data, atau disebut kecepatan akses. *Throughput* dapat dikaitkan dengan *bandwidth*, karena *throughput* dapat disebut juga sebagai *bandwidth* dalam kondisi yang sebenarnya. Dimana *bandwidth* lebih bersifat nyata sedangkan *throughput* bersifat dinamis tergantung trafik, atau *noise* yang sedang terjadi saat pengiriman data.

Teknologi jaringan LTE menggunakan dua sistem yaitu, *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) pada arah *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* untuk arah *uplink* (SCFDMA). Keuntungan dari penggunaan OFDMA adalah terletak pada frekuensi selektif dan interferensi antar spektral dengan efisiensi yang cukup tinggi,

sedangkan kelemahannya adalah memiliki puncak yang tinggi pada rasio daya rata-rata. (Gessner.2012).

Dalam arah *downlink* pada jaringan LTE menggunakan sistem OFDMA yang mana sistem ini lebih efisien dibandingkan sistem SCFDMA yang digunakan untuk arah *uplink*. Dalam sistem LTE dikenal beberapa parameter yang berpengaruh terhadap kecepatan akses, seperti frekuensi, modulasi *bandwith*, *cyclic prefix*, *air interface*, dan rasio koding yang mana sangat penting dalam penghitungan besar kecepatan akses. Pengukuran dari kualitas *channel* dapat di representasikan sebagai SINR (*Signal to Interface plus Noise Ratio*) yang digunakan untuk penyusuaian *link budget* dengan penjadwalan paket dalam LTE. Dalam sistem komunikasi nirkabel dengan menggunakan medium udara sebagai media transmisinya akan mengalami perubahan daya dari gelombang yang merambat. Perbandingan antara daya gelombang yang dikirim oleh antena dengan daya gelombang yang diterima oleh penerima dapat disebut sebagai *path loss*. Perhitungan *path loss* sangat bergantung dengan kondisi media transmisi dari gelombang yang dikirimkan, dan jarak antara antena pengirim dengan penerima.

Standar 3GPP menyatakan bahwa LTE dapat diterapkan pada frekuensi 700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2600 MHz. Pada penelitian kali ini dengan memilih sistem LTE sebagai analisis, dan dari penelitian ini berkerja sama dengan operator XL Axiata sebagai salah satu operator telekomunikasi terbesar di Indonesia yang telah meluncurkan secara resmi jaringan LTE di Indonesia dengan menerapkan sistem LTE pada frekuensi 1800 MHz. Pada tugas akhir ini akan mengkaji dan menganalisa pengaruh jarak terhadap hasil keluaran pada kecepatan akses, serta dengan mengkaji faktor apa saja yang berpengaruh pada hasil keluaran kecepatan akses yang diterima.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disusun di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan pada penelitian ini, yaitu

1. Bagaimana cara untuk mengetahui pengaruh SINR terhadap kecepatan akses data pada jaringan LTE?
2. Mengetahui bagaimana cara untuk membandingkan perhitungan kecepatan akses dengan pendekatan Shannon, terhadap kecepatan akses di lapangan dengan cara mendapatkan besar *overhead*.
3. Bagaimana cara untuk mengetahui hubungan antara jarak pada antena pengirim ke antena penerima terhadap *path loss*, dan SINR?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan lebih terarah, maka pembahasan dibatasi sebagai berikut:

1. Arsitektur/konfigurasi jaringan 4G LTE di PT. XL Axiata Tbk. Wilayah Wiyung, Surabaya tempat pengambilan data tugas akhir.
2. Pengambilan data diambil pada suhu tetap pada 26 °C
3. Keadaan lingkungan pengambilan data dalam keadaan *low traffic*.
4. Tidak membahas transport data arah *uplink*
5. Tidak membahas sistem SC-FDMA.
6. Hanya menggunakan jenis antena MIMO konfigurasi 2x2
7. Frekuensi yang digunakan 10Mhz.
8. Perhitungan *path loss* dengan menggunakan model Okumura Hata dengan daerah tergolong *sub-urban*.
9. Hanya membahas *loss* pada media transmisi.
10. Tidak membahas modulasi, dan demodulasi sinyal.
11. Perhitungan besar kecepatan akses dengan menggunakan pendekatan Shannon.
12. Tidak membahas transport EPC.
13. Tidak membahas jumlah *User* terhadap pengaruh kecepatan akses.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh SINR terhadap kecepatan akses data LTE.
2. Membandingkan perhitungan kecepatan akses dengan pendekatan Shannon, terhadap kecepatan akses di lapangan dengan cara mendapatkan besar *overhead*.
3. Mengetahui hubungan antara jarak pada antenna pengirim dengan antenna penerima terhadap *path loss*, dan SINR

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dalam penelitian ini adalah untuk memberi informasi bagaimana untuk memaksimalkan besar kecepatan akses yang diterima dari antenna pengirim dengan menganalisa dari beberapa parameter seperti SINR, *path loss*, dan jarak yang di dapatkan dari penelitian tugas akhir ini.

1.6 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini, tersusun dalam lima bab yaitu : Bab 1: Pendahuluan berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, perumusan masalah dan manfaat tugas akhir. Bab 2: Tinjauan Pustaka berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3: Metodologi Penelitian berisi tentang metode dan tahap pengambilan data. Bab 4: Analisa Data dan Pembahasan berupa hasil data yang diperoleh, serta analisa yang dilakukan. Bab 5: Kesimpulan berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik

James Clerk Maxwell (1831-1879) adalah fisikawan berasal dari Skotlandia yang pertama kali mengemukakan tentang teori tentang gelombang elektromagnetik. Dalam tulisan beliau menjelaskan tentang hukum magnetisme dan kelistrikan dalam secara matematis. Terdapat tiga aturan dasar yang dikemukakan oleh Maxwell, yaitu:

1. Muatan medan listrik menghasilkan medan listrik di daerah sekitarnya, dengan besarnya dapat dibuktikan dengan hukum Coulumb.
2. Muatan yang mengalir atau arus listrik dapat menghasilkan medan magnet disekitarnya yang besar dan arahnya dapat ditunjukkan oleh hukum Bio-Savart atau hukum Ampere.
3. Perubahan dari medan magnet dapat menimbulkan GGL induksi yang dapat menimbulkan medan listrik dengan aturan yang diberikan oleh hukum induksi Faraday.

Berdasarkan ketiga aturan dasar tersebut, Maxwell mengemukakan bahwa karena perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik, maka perubahan medan listrik pun akan dapat menimbulkan perubahan medan magnet. Hal ini tersebut digunakan untuk menerangkan terjadinya gelombang elektromagnet.

Gelombang adalah fungsi dari ruang dan waktu. Gerakan gelombang terjadi ketika terdapat gangguan di titik A, di waktu t_0 , berkaitan dengan apa yang terjadi pada titik B, pada saat $t > t_0$. Sebuah persamaan gelombang. Dalam satu dimensi, persamaan gelombang skalar dirumuskan:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} - u^2 \frac{\partial^2 E}{\partial z^2} = 0 \quad (2.1)$$

Dimana u adalah cepat rambat gelombang. Dengan memasukan faktor waktu, E dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = A e^{j(\omega t - \beta z)} + B e^{j(\omega t + \beta z)} \quad (2.2)$$

Dengan meninjau dari bagian A, sehingga persamaan 2.2 dapat dituliskan menjadi persamaan gelombang sinus:

$$E = A \sin(\omega t - \beta z) \quad (2.3)$$

Berbagai jenis gelombang elektromagnetik berbeda dalam frekuensi dan panjang gelombangnya. Hubungan kecepatan perambatan gelombang, frekuensi, dan panjang gelombang dapat dinyatakan pada persamaan berikut:

$$u = f \lambda \quad (2.4)$$

Dimana:

u = kecepatan perambatan gelombang (m/s)

f = frekuensi gelombang (Hz)

λ = panjang gelombang (m)

Perbedaan interval jarak panjang gelombang dan frekuensi gelombang yang disusun secara berurutan disebut spektrum gelombang elektromagnetik. Spektrum elektromagnetik dapat digolongkan seperti dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Spektrum Elektromagnetik

Jenis Spektrum	Frekuensi	Panjang Gelombang
<i>High Frequency</i> (HF)	3 – 30 MHz	(100 – 10) m
<i>Very High Frequency</i> (VHF)	50 – 100 MHz	(6 – 3) m
<i>Ultra High Frequency</i> (UHF)	400 – 1000 MHz	(75 – 30) m
<i>Microwave</i>	$3 \cdot 10^9$ - 10^{11} Hz	10 cm – 3 mm
<i>Millimetre Wave</i>	10^{11} - 10^{12} Hz	3 mm – 0,3 mm
<i>Infrared</i>	10^{12} ($6 \cdot 10^{14}$) Hz	0,3 mm – 0,5 μ m
Cahaya Matahari	($6 \cdot 10^{14}$) - ($8 \cdot 10^{14}$) Hz	0,5 μ m - 0,4 μ m
<i>Ultra-Violet</i>	($8 \cdot 10^{14}$) - 10^{17} Hz	0,4 μ m – 10-9 m

<i>X-Rays</i>	$(10^{17} - 10^{19})\text{Hz}$	10-9 m - 10-3 m
<i>Gamma Rays</i>	$> 10^{19} \text{ Hz}$	$< 10^{-3} \text{ m}$

Gelombang elektromagnetik dapat merambat dalam ruang hampa, dan gelombang elektromagnetik juga menghasilkan medan listrik dan medan magnet selama merambat. Gelombang elektromagnetik dapat memindahkan energi yang dibawanya berupa informasi melalui ruang hampa, dan juga dapat melalui sebuah medium material. Dengan melalui material akan menyebabkan adanya absorpsi dan pemantulan oleh material terhadap gelombang elektromagnetik. Sehingga informasi yang dibawa gelombang elektromagnetik akan sampai pada penerima dengan waktu yang berbeda tiap spektrum karena adanya material yang mempengaruhi rambatnya gelombang elektromagnetik.

2.2 Propagasi Gelombang Elektromagnetik

Contoh umum dari gelombang EM adalah gelombang radio, sinyal TV, radar, dan sinar cahaya. Semua bentuk energi gelombang EM memiliki tiga karakteristik dasar yaitu: gelombang EM merambat dengan kecepatan tinggi; pada saat merambat gelombang EM sama dengan sifat-sifat gelombang; dan gelombang EM memancarkan radiasi. Propagasi gelombang EM terbagi menjadi empat jenis yang terbagi sebagai berikut:

2.2.1 Gelombang EM Pada *Free Space*

Pada saat gelombang EM merambat dalam ruang hampa, maka akan berlaku:

$$\sigma = 0, \epsilon = \epsilon_0, \mu = \mu_0$$

Dimana:

$$u = C = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (2.5)$$

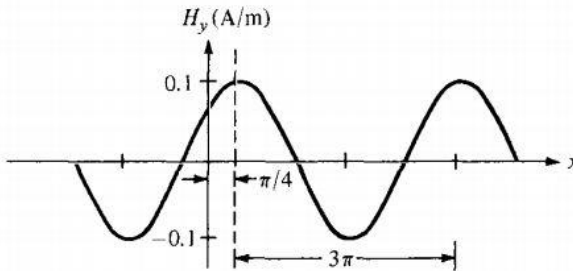
Dengan C adalah kecepatan cahaya dalam vakum. Kemudian dapat disimpulkan bahwa gelombang EM yang berjalan pada ruang hampa memiliki cepat rambat yang sama dengan kecepatan rambat cahaya dalam ruang hampa. Dan juga memiliki daya hambatan yang sebesar:

$$\eta_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} = 120\pi \approx 377 \Omega \quad (2.6)$$

Dimana η_0 dapat disebut sebagai hambatan dalam dari medium vakum tersebut.

2.2.2 Gelombang EM Pada *Lossy Dielectrics*

Propagasi gelombang pada *lossy dielectrics* adalah kasus umum dari propagasi gelombang dalam jenis media transmisi lainnya.



Gambar 2.1 Perubahan panjang gelombang akibat melalui medium *lossy dielectric* (Sadiku, 2000)

Lossy dielectric adalah medium yang mana dapat membuat sebuah gelombang elektromagnetik kehilangan daya saat merambat. Hal ini diakibatkan karena adanya *poor conduction*. Atau dapat dikatakan *lossy dielectric* adalah medium konduksi sebagian (ketidaksempurnaan dari konduktor). Dimana nilai $\sigma \neq 0$. Sehingga medium tersebut memiliki propagasi konstan dalam per meter yang dapat dirumuskan:

$$|\gamma^2| = \beta^2 + \alpha^2 \quad (2.7)$$

$$|\gamma^2| = \omega\mu (\sigma^2 + \omega^2 \epsilon^2)^{1/2} \quad (2.8)$$

Dengan menganggap bahwa gelombang merambat sepanjang sumbu $+a_z$ dan E_s hanya memiliki komponen x , kemudian dengan memasukan faktor waktu, didapatkan:

$$\mathbf{E}(z,t) = E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) \mathbf{a}_x \quad (2.9)$$

Menggunakan persamaan 2.9 ke dalam persamaan Maxwell maka didapatkan:

$$\mathbf{H}(z,t) = \text{Re} (H_0 e^{-\alpha z} e^{j(\omega t - \beta z)} \mathbf{a}_y) \quad (2.10)$$

Dimana H_0 adalah:

$$H_0 = E_0 / \eta \quad (2.11)$$

Untuk η adalah kuantitas kompleks yang dikenal sebagai impedansi intrinsik medium (Ω), yang dapat dirumuskan:

$$|\eta| = \frac{\sqrt{\mu/\epsilon}}{\left[1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\epsilon}\right)^2\right]^{1/4}} \quad (2.12)$$

Persamaan 2.10 dapat ditulis menjadi:

$$\mathbf{H} = \frac{E_0}{|\eta|} e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z - \theta) \mathbf{a}_y \quad (2.13)$$

Dilihat dari persamaan 2.9 dan persamaan 2.13, propagasi gelombang berjalan pada sumbu a_z , hal ini akan meningkatkan atenuasi pada amplitudo, dengan α diketahui sebagai konstanta atenuasi sebuah medium. Kemudian dapat mengukur besar tingkat spasial redaman gelombang di dalam medium, dijelaskan sebagai *nepers* per meter (Np/m), dimana:

$$1 \text{ Np/m} = 20 \log_{10} e = 8.686 \text{ dB} \quad (2.14)$$

2.2.3 Gelombang EM Pada Konduktor

Dalam kasus ini gelombang EM merambat pada konduktor yang sempurna, atau konduktor baik, dengan memiliki kondisi sebagai berikut:

$$\sigma = \infty, \epsilon = \epsilon_0, \mu = \mu_0 \mu_r$$

Dan juga dengan memiliki kondisi sebagai berikut:

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} = \sqrt{\pi f \mu \sigma} \quad (2.15)$$

Untuk besar impedansi intrinsik medium dirumuskan:

$$|\eta| = \sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}} \quad (2.16)$$

Kemudian untuk \mathbf{E} dan \mathbf{H} dengan sudut 45° dapat dituliskan:

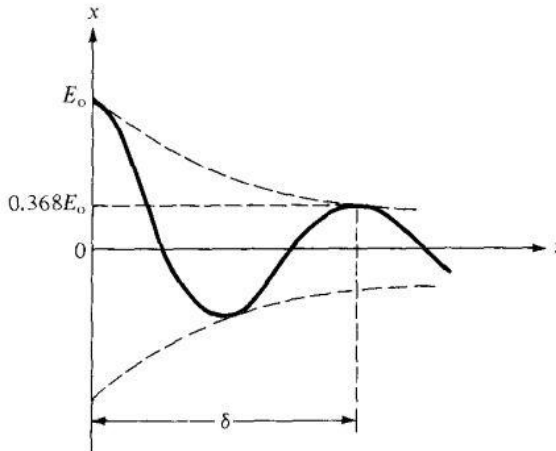
$$\mathbf{E} = E_o e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z) \mathbf{a}_x \quad (2.17)$$

$$\mathbf{H} = \frac{E_o}{\sqrt{\frac{\omega\mu}{\sigma}}} e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z - 45^\circ) \mathbf{a}_y \quad (2.18)$$

Skin depth atau kedalaman penetrasi sebuah gelombang yang menembus media dapat disimbolkan dengan δ , dimana amplitudo gelombang berkurang dengan faktor e^{-1} atau sekitar 37% dari amplitudo sebelumnya, persamaanya dapat dituliskan:

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (2.19)$$

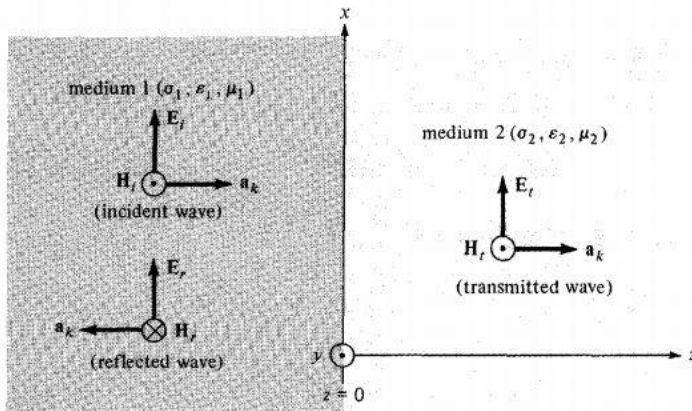
Skin depth adalah ukuran kedalaman yang gelombang EM dapat menembus medium. Pada gambar 2.2 merupakan ilustrasi dari sebuah gelombang EM yang merambat dalam medium konduktor baik. (Sadiku, 2000)



Gambar 2.2 Gelombang EM dalam *Skin depth*
(Sadiku, 2000)

2.2.4 Refleksi Dari Gelombang EM

Dengan menganggap muka gelombang EM merambat pada arah $+z$, dan mengalami kontak dengan medium lainnya pada saat $z = 0$. Untuk medium 1 yaitu saat $z < 0$, dengan spesifikasi σ_1, ϵ_1 , dan μ_1 . Sedangkan untuk medium 2 yaitu saat $z > 0$ dengan spesifikasi σ_2, ϵ_2 , dan μ_2 , yang seperti terlihat pada gambar 2.3. Pada gambar tersebut i, r , dan t adalah jenis kejadian yang terjadi. Dimana i untuk *incedent* atau gelombang datang, kemudian r adalah gelombang yang di refleksikan, dan t adalah gelombang yang di teruskan. (Sadiku, 2000)



Gambar 2.3 Masukan gelombang terhadap permukaan dua buah medium yang berbeda (Sadiku, 2000)

Pada gelombang datang yang sejajar dengan sumbu $+az$ pada medium 1, kemudian dengan menambahkan faktor waktu. Dapat ditentukan:

$$\mathbf{E}_{is}(z) = E_{io} e^{-\gamma_{1z}} \mathbf{a}_x \quad (2.20)$$

$$\mathbf{H}_{is}(z) = H_{io} e^{-\gamma_{1z}} \mathbf{a}_y = \frac{E_{io}}{\eta} e^{-\gamma_{1z}} \mathbf{a}_y \quad (2.21)$$

Kemudian untuk gelombang yang di refleksikan:

$$\mathbf{E}_{rs}(z) = E_{ro} e^{\gamma_{1z}} \mathbf{a}_x \quad (2.22)$$

$$\mathbf{H}_{rs}(z) = H_{ro} e^{\gamma iz} (-\mathbf{a}_y) = -\frac{Eio}{\eta} e^{\gamma iz} \mathbf{a}_y \quad (2.23)$$

Sedangkan untuk gelombang yang di teruskan, dapat ditulis:

$$\mathbf{E}_{ts}(z) = E_{to} e^{-\gamma 2z} \mathbf{a}_x \quad (2.24)$$

$$\mathbf{H}_{ts}(z) = H_{to} e^{-\gamma 2z} \mathbf{a}_y = \frac{Eio}{\eta} e^{-\gamma 2z} \mathbf{a}_y \quad (2.25)$$

Dengan dilihat dari gambar 2.3 total medan pada medium 1 sama dengan total medan pada medium 2, dan kemudian di dapatkan:

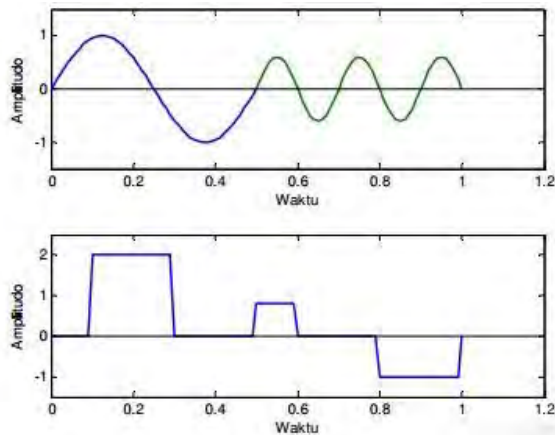
$$\Gamma = \frac{E_{ro}}{E_{io}} = \frac{\eta_2 + \eta_1}{\eta_2 - \eta_1} \quad (2.26)$$

Dimana Γ adalah koefisien refleksi, sedangkan untuk koefisien transmisi adalah:

$$\tau = \frac{E_{to}}{E_{io}} = \frac{2 \eta_2}{\eta_2 + \eta_1} \quad (2.26)$$

2.2 Sinyal

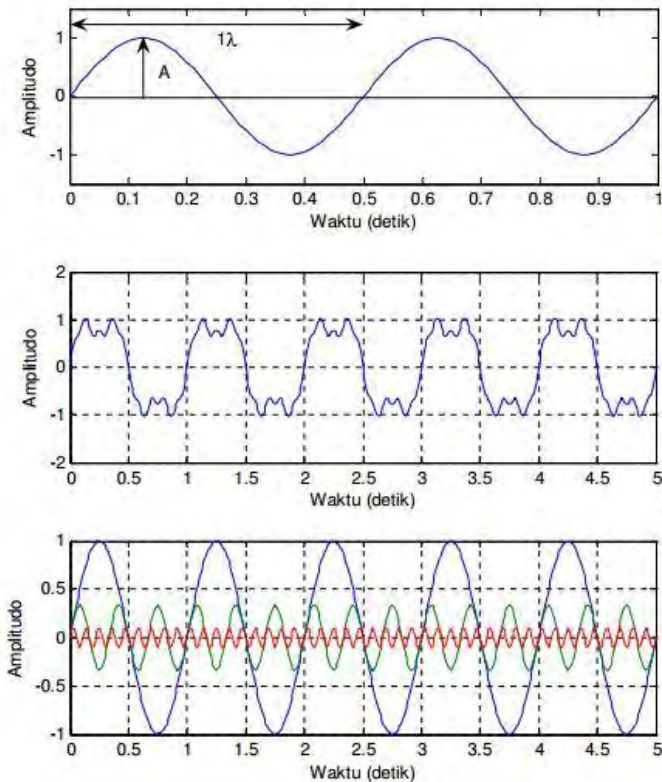
Dilihat dari bentuknya, sinyal dapat dibedakan ke dalam sinyal analog dan sinyal digital. Suatu sinyal dapat dikatakan analog apabila amplitudo dari sinyal tersebut terus-menerus ada dalam rentang waktu tertentu (kontinyu) dan memiliki variasi nilai amplitudo tak terbatas. Sinyal analog dan digital berdasarkan siklus perulangan gelombang dapat dibedakan ke dalam dua bentuk, yaitu sinyal periodik dan sinyal tidak periodik. Sinyal periodik akan selalu berulang kembali setelah periode waktu tertentu yang telah terlewati. Dalam satu satuan waktu dimana sinyal tersebut berulang disebut dengan satu periode (T). Sedangkan sinyal tidak periodik tidak menunjukkan adanya siklus tertentu sepanjang waktu rambatnya kecil. (Oppenheim, 2001)



Gambar 2.4 Sinyal analog (atas), sinyal digital (bawah)
(Oppenheim, 2001)

2.2.1 Sinyal Analog

Bentuk dari sinyal analog yang paling sederhana adalah dapat digambarkan sebagai gelombang sinus. Dalam keadaan nyata suatu sinyal analog merupakan gabungan dari beberapa gelombang sinus dapat disebut sebagai sinyal komposit. Dengan teknik yang ditemukan oleh seorang ilmuwan Perancis bernama Jean-Babtiste Fourier sinyal komposit dapat didekomposisi ke dalam beberapa gelombang sinus untuk dianalisis. Teknik ini disebut dengan analisis Fourier.



Gambar 2.5 Sinyal analog dalam bentuk gelombang sinus (atas), sinyal analog komposit (tengah), dekomposisi sinyal komposit (bawah) (Oppenheim. 2001)

Hasil dekomposisi terdiri atas tiga buah sinyal komposit diatas, yaitu:

$$y_1 = \sin(2\pi f_1 t) \quad (2.27)$$

$$y_2 = \sin(2\pi 3f_1 t) \quad (2.28)$$

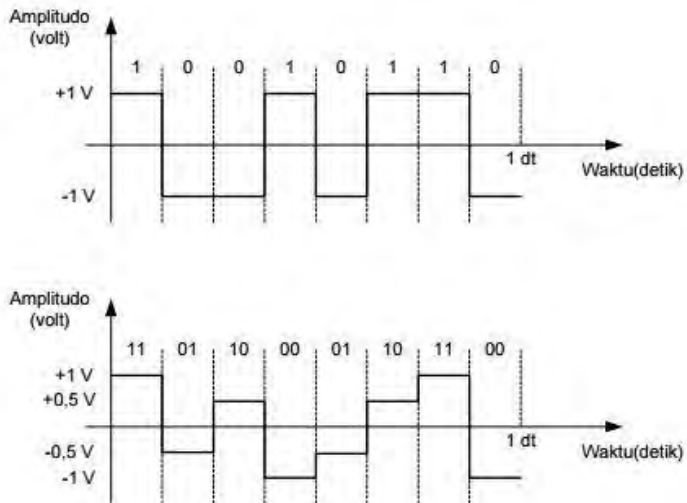
$$y_3 = \sin(2\pi 9f_1 t) \quad (2.29)$$

Dimana sinyal pertama pada persamaan 2.27 disebut dengan harmonik pertama, kemudian sinyal kedua pada persamaan 2.28

disebut harmonik ketiga dan sinyal terakhir pada persamaan 2.29 disebut harmonik kesembilan.

2.2.2 Sinyal Digital

Sinyal digital adalah sinyal diskrit, sinyal digital tidak memiliki amplitudo yang kontinu sepanjang waktu, apabila bit-bit data yang diinginkan untuk ditransmisikan melalui media komunikasi ke dalam bentuk sinyal digital, maka bit-bit data tersebut harus ditransformasi ke dalam bentuk lain, yaitu ke dalam bentuk gelombang listrik. Dimana 1 bit diwakili oleh tegangan listrik +1 volt dan 0 bit diwakili oleh tegangan listrik -1 volt. Representasi sinyal listrik seperti ini adalah bentuk transformasi yang sederhana, dimana 1 level tegangan sinyal listrik dapat mewakili 1 bit data digital. Namun, pada keadaan nyata 1 level tegangan sinyal digital dapat mewakili beberapa bit data digital dengan tujuan untuk meningkatkan kecepatan pengiriman data akses, serta efisiensi dalam pengiriman data.



Gambar 2.6 Sinyal digital dalam bentuk tegangan listrik (Oppenheim. 2001)

Dalam gambar 2.6, bagian atas terlihat bahwa dalam 1 detik terdiri dari 8 bit data. Sehingga dapat dikatakan bahwa kecepatan pengiriman data untuk gambar pada bagian atas adalah 8 *bit per second* (bps). Sedangkan pada gambar bagian bawah dalam 1 detik terkirim data sebanyak 16 bit. Karena itu kecepatan pengiriman data pada gambar bagian bawah adalah 16 bps. Hubungan antara jumlah level tegangan (L) dan jumlah bit (b) secara matematis dapat dirumuskan menjadi:

$$L = 2^b \quad (2.30)$$

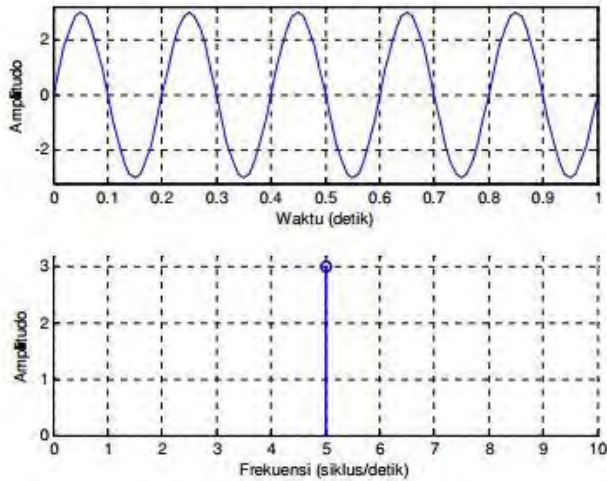
Dimana b :

$$b = \log_2 L \quad (2.31)$$

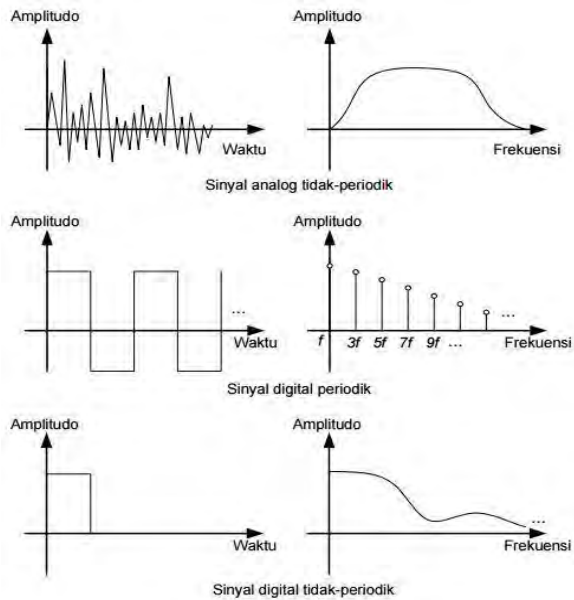
Hampir semua sinyal digital memiliki sifat tidak periodik. Hal ini disebabkan sinyal digital tidak memiliki properti periode dan frekuensi sebagaimana halnya pada sinyal analog periodik. Satuan ukur yang digunakan pada sinyal digital adalah *bit rate*. *Bit rate* didefinisikan sebagai jumlah bit yang terkirim dalam 1 detik yang dinyatakan dengan satuan *bit per second* (bps).

2.2.3 Sinyal dalam domain frekuensi

Dengan menggunakan domain frekuensi dalam pengolahan sinyal, maka akan dapat meninjau komponen-komponen penyusun dari sebuah sinyal dengan menggunakan acuan frekuensi. Sebagai contoh yaitu *bandwith*, *bandwidth* merupakan parameter yang diukur dengan menggunakan acuan frekuensi. Pada gambar dibawah berikut, bagian atas adalah representasi gelombang sinus dalam domain waktu. Gelombang tersebut memiliki frekuensi sebanyak 5 siklus per detik karena dalam waktu 1 detik terdapat 5 siklus gelombang. Sedangkan amplitudo puncak dari gelombang tersebut adalah 3. Representasi dalam domain frekuensi ditunjukkan pada bagian bawah dari gambar. Terlihat bahwa sebuah tiang dengan amplitudo 3 berada pada frekuensi 5 siklus per detik.



Gambar 2.7 Representasi domain frekuensi dari gelombang sinus (Oppenheim, 2001)



Gambar 2.8 Perbandingan sinyal dalam domain waktu dan dalam domain frekuensi (Ingle.V.K, 2000)

Sedangkan gambar diatas merupakan perbandingan gambaran sinyal dalam domain frekuensi, dengan sinyal dalam domain waktu.

2.3 Teknologi LTE

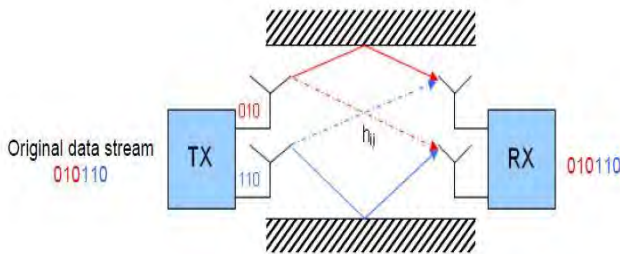
Long Term Evolution atau bisa disebut dengan LTE, merupakan salah satu generasi teknologi telekomunikasi selular. LTE dapat memberikan kecepatan *uplink* hingga mencapai 50 megabit per detik (Mbps) dan kecepatan *downlink* hingga 100 Mbps. (Zyren, 2007) Jaringan LTE memiliki cakupan *bandwidth* dari 1,4 MHz hingga 20 MHz. Setiap operator jaringan seluler dapat memilih besar *bandwidth* yang berbeda dan dapat memberikan layanan yang berbeda berdasarkan spektrum dari *bandwidth* yang diberikan. Menurut Riyansah Deris (2007), LTE hanya dapat bekerja pada spektrum frekuensi tertentu seperti spektrum standar IMT-2000 (450, 850, 900, 1800, 1900, 2100 MHz) ataupun pada spektrum baru seperti 700 MHz dan 2,5 GHz. Hal ini merupakan tujuan dari desain jaringan LTE, yaitu untuk meningkatkan efisiensi spektrum pada jaringan telekomunikasi, dimana operator dapat menyediakan lebih banyak paket data untuk *bandwidth*.

2.4 Multiple Antenna Techniques

Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan bagian terpenting dalam teknologi jaringan LTE sebagai persyaratan tinggi untuk masalah *throughput* dan efisiensi spektrum. MIMO mengacu pada penggunaan beberapa antena pada pemancar dan sisi penerima. Pada arah *downlink* LTE, konfigurasi 2x2 MIMO diasumsikan sebagai konfigurasi dasar, yaitu dua antena transmit pada *base station* dan dua menerima antena di sisi terminal. Teknologi ini diperkenalkan kali pertama oleh seorang ahli dari *Bell Laboratories* pada tahun 1984.

(Gessner, 2012)

Pada dasarnya terdapat tiga keuntungan yang terkait dengan saluran MIMO *Diversity gain*, *Array gain*, dan *Spatial multiplexing gain*. *Diversity gain* sesuai dengan efek mitigasi *multipath fading*, yaitu dengan cara mengirimkan atau menerima dari beberapa antenna di mana pelemahan tersebut dapat mudah diatasi. *Spatial multiplexing* memungkinkan transmisi aliran data yang berbeda secara bersamaan di RB (*Resource Block*) yang sama, dengan memanfaatkan dimensi spasial dari saluran radio. Kemudian data ini aliran dapat dimasukkan ke salah satu *single user* atau untuk pengguna yang berbeda. (Sesia, 2011)

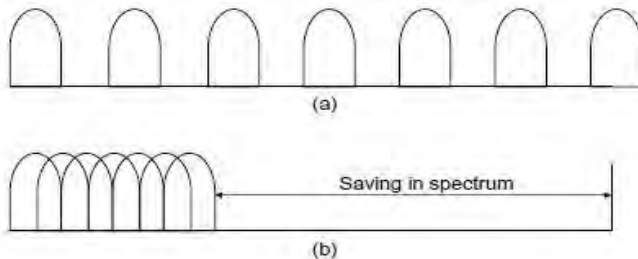


Gambar 2.9 Konfigurasi jaringan MIMO (Gessner, 2012)

Pada gambar 2.9 menunjukkan ilustrasi sederhana dari *multiplexing spasial*. Dalam contoh ini, setiap antenna pemancar mentransmisikan aliran data yang berbeda. Ini adalah kasus dasar untuk *multiplexing spasial*. Tiap antenna penerima akan menerima aliran data dari semua antenna pengirim. Penurunan dari kualitas transmisi menurun secara signifikan dalam hal nilai-nilai singular pada matriks penyusutan yang tidak cukup kuat. Hal ini dapat terjadi dalam kasus dua antenna yang tidak cukup berkorelasi, misalnya dalam lingkungan dengan sedikit hamburan atau ketika jarak antenna terlalu dekat. (Gessner, 2012)

2.5 OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah kasus khusus dari transmisi *multicarrier* dimana sub-kanal *narrowband* non-frekuensi-selektif, saluran *wideband* frekuensi-selektif terbagi tumpang tindih secara orthogonal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar dibawah berikut:



Gambar 2.10 Efisiensi spektral OFDM dibandingkan dengan modulasi multicarrier klasik: (a) spektrum sistem multicarrier klasik; (b) spektrum sistem OFDM. (Sesia, 2011)

Menurut Sesia (2011) hal ini bertujuan untuk menghindari kebutuhan ruang dengan cara menggabungkan kanal yang dipisahkan dengan *guard-band*, hal ini yang membuat OFDM memiliki spektral yang sangat efisien. Sebuah aliran data tingkat tinggi biasanya akan menghadapi masalah dengan memiliki periode simbol T_s yang jauh lebih kecil daripada saluran *delay spread* nya T_d jika ditransmisikan secara seri. Hal ini akan menimbulkan *Inter Symbol Interference* (ISI) yang hanya dapat dibatalkan dengan cara prosedur pemerataan kompleks.

Dalam sistem OFDM ini memiliki keuntungan yang penting untuk membutuhkan prosedur kompleks pada pemerataan di penerima, dengan asumsi bahwa respon impuls kanal waktu bervariasi tetap konstan selama transmisi setiap simbol modulasi OFDM. (Peled A, 1980)

2.6 OFDMA

OFDMA digunakan pada skema *multiplexing* dalam arah *downlink* LTE. Transmisi OFDMA dalam domain frekuensi terdiri dari beberapa *subcarrier* paralel, yang berada dalam domain frekuensi sesuai dengan beberapa gelombang sinusoidal dengan waktu yang berbeda-beda, dengan mengisi sistem *bandwidth* dengan satu per satu hingga nilai batasnya. Peristiwa ini menyebabkan paket sinyal yang sangat bervariasi. Hal ini menyebabkan beberapa permasalahan pada desain *amplifier* dalam sistem selular, yang pertama harus bertujuan untuk efisiensi daya *amplifier* maksimum untuk mencapai konsumsi daya yang minimum. (Holma, 2009)

2.7 Gangguan-Gangguan Transmisi

Gelombang sinyal yang merambat melalui media transmisi dari pengirim (antena) menuju ke penerima (UE), selama melalui proses rambatan tersebut, sinyal akan mengalami penurunan energi dan juga menerima gangguan dari eksternal. Penurunan energi dapat disebut sebagai atenuasi, sedangkan gangguan dari luar dapat disebabkan oleh adanya distorsi dan derau (*noise*).

2.7.1 Distorsi

Distorsi menyebabkan adanya perubahan bentuk dari sinyal di sisi penerima, sehingga pada sisi penerima tidak dapat mendeteksi sinyal dengan benar atau sinyal telah berubah tidak sesuai dengan sinyal yang dikirimkan. Penyebab distorsi yakni adanya berbagai macam filter di sepanjang jalur transmisi sinyal antara pengirim dan penerima. Bahkan media transmisi sinyal sendiri dapat berfungsi sebagai filter, walaupun berpengaruh cukup sedikit. Karena tidak ada media transmisi yang bersifat ideal, maka sinyal yang melewatinya pasti akan terdistorsi. Salah satu jenis distorsi yang secara dominan mengganggu komunikasi data terutama dalam komunikasi nirkabel disebut dengan istilah *Inter-Symbol Interference* (ISI). Akan tetapi jenis distorsi ISI ini dapat

dikurangi dengan cara menambahkan peralatan *equalizer* pada sisi penerima.

2.7.2 Noise

Noise dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa macam, yaitu *thermal noise*, *induced noise*, *crosstalk*, dan *impulse noise*.

- *Thermal noise* secara alami terjadi akibat adanya gesekan elektron dalam media yang berasal dari perangkat-perangkat lain di sekitar jalur komunikasi, misalnya adanya medan listrik di sekitar media komunikasi.
- *Impulse noise* merupakan derau dengan energi sangat tinggi tetapi berlangsung dalam waktu cukup singkat. Misalnya, energi yang berasal dari petir yang menjalar melalui media komunikasi dapat digolongkan sebagai *impulse noise*.
- *Crosstalk* terjadi akibat saling pengaruh antara media pengirim dan penerima. Tidak jarang saat anda berbicara melalui pesawat telepon, pada saat bersamaan anda mendengar pembicaraan orang lain.

Perbandingan antara daya sinyal asli dan daya dari *noise* disebut dengan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Apabila nilai daya rata-rata dari *noise* cukup besar dibandingkan dengan daya rata-rata dari sinyal, maka SNR akan bernilai kecil. Nilai SNR dapat di naikkan dengan cara memperbesar daya rata-rata dari sinyal. (Shafiul A, 2008)

2.8 AWGN

Additive White Gaussian Noise atau dapat disebut AWGN, AWGN merupakan *noise thermal* yang disebabkan oleh pergerakan-pergerakan elektron di dalam konduktor yang terdapat pada perangkat telekomunikasi. Pada bidang frekuensi, *noise thermal* ini memiliki nilai kepadatan spektral daya yang sama untuk daerah frekuensi yang lebar, yaitu sebesar $N/2$.

Fluktuasi adalah akibat dari teorema dasar termodinamika, dan teorema ekuipartisi. Teorema ini menyatakan bahwa: Setiap

derajat kebebasan sistem apapun berfluktuasi dengan energi sebesar:

$$\frac{1}{2} K_B T = 2.10^{-21} \text{ J} \quad (2.33)$$

Pada keadaan standar temperatur 290 K. dengan $K_B 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ adalah ketentuan Boltzman dan T adalah temperatur. Hal ini adalah derajat kebebasan mengandung $\frac{1}{2} K_B T$ energi bebas. Sebuah elektron akan mengelilingi dengan rata rata $3/2KT$ dalam 3 dimensi. Fluktuasi dapat menjelaskan teorema ekuipartisi yang menyebabkan *noise* listrik, fluktuasi ini dapat disebut sebagai entropi, yang dirumuskan:

$$S = K_B \ln (\Omega_i) \quad (2.34)$$

Dimana Ω_i adalah jumlah arah yang berbeda yang berhubungan dengan derajat kebebasan sistem. (Christos P, 2008)

Karakteristik acak saluran radio tidak dapat dianalisis secara benar dengan model kanal AWGN karena faktor-faktor seperti refleksi, refraksi, difraksi, besar dan kecil skala fading. Kanal Rayleigh *fading* selain dari yang *noise* yang ditimbulkan juga dipengaruhi oleh kenaikan saluran kompleks yang merupakan variabel acak. Hal ini adalah input-independen waktu yang bervariasi terhadap parameter kanal. (Sainju, 2012)

2.9 Signal to Interference-Noise Ration (SINR)

SINR dapat didefinisikan sebagai perbandingan rasio antara kekuatan sinyal, dengan interferensi dari gangguan. SINR dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{SINR} = \frac{S}{I+N} \text{ dalam dB} \quad (2.35)$$

Dimana S adalah rata-rata dari kekuatan sinyal, dan I adalah interferensi dan N untuk *noise*. I atau inteterferensi dapat dirumuskan kembali:

$$I = I_{\text{own}} + I_{\text{other}} \quad (2.36)$$

Dengan I_{own} adalah sumber interferensi dari sel sendiri, kemudian untuk I_{other} adalah interferensi dari sel lain. SINR adalah hal yang faktor terpenting untuk menentukan kecepatan akses dalam arah *downlink* setiap pengguna seluler. Setiap pengguna

memiliki pengaruh yang tinggi untuk pengendalian kontrol mekanisme. Dengan mengimpletasikan *open loop power control* OLPC, pengiriman daya bergantung dengan *path loss* dan penggunaan PRB (*Physical Resource Block*). (Sainju, 2012)

2.10 Kecepatan Akses Dalam Arah *Downlink*

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecepatan akses pada arah *downlink* adalah lebar frekuensi, penggunaan jenis antena MIMO, modulasi dan *coding* untuk memaksimalkan besar SINR yang diterima pada pengguna dalam jangkauan sel. Efisiensi spektral yang disediakan oleh teknik modulasi yang berbeda-beda seperti QPSK, 16-QAM dan 64-QAM untuk streaming rentang transmisi tunggal dari 1 bps/Hz hingga 6 bps/Hz. Penggunaan dari 2x2 MIMO menggandakan *bit rate* semakin ditingkatkan hingga batas atas yaitu 12 bps/Hz. Jumlah blok sumber daya yang dialokasikan untuk lebar frekuensi yang berbeda akan memberikan jumlah simbol yang tersedia dalam rangka waktu. Saluran sinyal yang acak ini akan memakai elemen sumber daya yang dialokasikan. Sehingga saluran kontrol *overhead bit* ini harus dikurangi dari *bit rate* yang tersedia untuk menghitung bit rate secara teoritis. (Sainju, 2012)

Dengan menambahkan *noise* AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) pada antena penerima, akan menyebabkan pada antena pengirim, dan antena penerima akan menjaga data throughput yang dibutuhkan. *Peak data rate* dapat didefinisikan sebagai kecepatan akses maksimum per pengguna dengan asumsi seluruh bandwidth teralokasikan untuk satu pengguna dengan modulasi tertinggi dan skema pengkodean dan jumlah maksimum antena yang didukung. Jenis *overhead* radio *interface* seperti (saluran kontrol, sinyal percontohan, interval penjaga, dll) diperkirakan dan diperhitungkan untuk titik operasi tertentu.

Besar kecepatan akses pada jaringan LTE juga dipengaruhi oleh jumlah pengguna yang sesuai dengan alokasi spektrum yang digunakan. Contoh: 200 pengguna dapat di cangkupi dalam satu sel pada frekuensi 5Mhz. Pembagian jumlah pengguna ini akan

mempengaruhi besar alokasi kecepatan akses yang diterima. Kemudian dengan faktor posisi pengguna berada pada wilayah yang dicangkupi oleh sel, contohnya adalah dekat dengan pinggiran sel, dimana pada lokasi ini akan menerima sinyal yang lemah, dan terkena gangguan interferensi dari sel sebelah. Hal ini akan menyebabkan kecilnya kecepatan akses yang didapatkan.

2.11 Model Okumura-Hata

Model Ini adalah salah satu model propagasi radio yang paling populer dan mudah digunakan dalam parameternya. Model Okumura-Hata adalah model empiris dan didasarkan pada pengukuran yang dilakukan oleh Okumura di daerah Tokyo. Pengukuran yang dilakukan kemudian disusun kedalam bentuk grafik dan pendekatan yang dilakukan oleh Hata merumuskan ekspresi *path loss* yang sekarang dapat disebut sebagai model Okumura-Hata. Model ini memiliki syarat sebagai berikut:

- Rentang frekuensi (f) antara 150Mhz hingga 1500Mhz
- Tinggi antenna pengirim (h_B) antara 30 meter hingga 200 meter
- Tinggi antenna penerima (h_M) antara 1 meter hingga 10 meter
- Jarak (d) antara antenna pengirim dan penerima kurang dari 20 Km
- Tidak menghitung penghalang besar antara antenna penerima dan pengirim
- Perubahan kondisi lingkungan tidak berubah secara tiba-tiba

Perhitungan *path loss* dengan model Okumura Hata dalam area *suburban* dan pada frekuensi jaringan 1800Mhz dapat ditulis sebagai berikut:

$$PL = F + B \log_{10}(d) + G \quad (2.37)$$

Dimana F dan B adalah:

$$F = 46.3 + 33.9 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_B) - a(h_M) \quad (2.38)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10}(h_B) \quad (2.39)$$

Faktor $a(h_M)$ adalah faktor yang bergantung lingkungan, untuk daerah pinggir kota (*sub-urban*) dapat menggunakan persamaan:

$$a(h_M) = (1.1 \log_{10}(f) - 0.7) h_M - (1.56 \log_{10}(f) - 0.8) \quad (2.40)$$

Sedangkan untuk G bernilai 0 dB untuk daerah *sub-urban*, dan 3dB untuk daerah pertengahan kota. (Ranvier, 2004)

BAB III METODOLOGI

Dalam bab III ini akan menjelaskan cara kerja pada sistem penelitian tugas akhir yang akan dilakukan, berikut yang akan di jelaskan secara terperinci dalam sub-bab dibawah:

3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah Laptop dengan sistem operasi *Windows 7*, *Drive test software* (Gnex *Probe*), Kartu SIM LTE, Modem LTE, kabel USB, DC *power supply*, Microsoft Excel, Gnet *Probe*, dan *Google Earth*.

3.2 Proses Pengambilan Data

Data pada penelitian tugas akhir ini adalah data dari hasil uji *drive test* yang dilakukan pada antena dari perusahaan PT XL AXIATA, yang berada di *cluster* 10 atau berada pada daerah Wiyung, Surabaya. Pada *cluster* 10 ini memiliki 2 buah antena yang akan diuji pada penelitian ini, berikut *set name* dari antena pada *cluster* 10:

1. 4541820E_LTE_WIYUNG
2. 454C904E_LTE_WIYUNG_GRAHA_FAMILY

Dengan spesifikasi antena diatas adalah memiliki rentang frekuensi 10 Mhz, dan memiliki konfigurasi MIMO 2x2. Berikut letak antena yang akan diuji yang digambarkan pada *Google Earth*:



Gambar 3.1 Lokasi set A (biru)
4541820E_LTE_WIYUNG, dan set B (merah)
454C904E_LTE_WIYUNG_GRAHA_FAMILY

Setelah menentukan antenna yang akan diuji dan lokasinya, kemudian menentukan parameter *range* SINR yang akan diuji, seperti ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 3.1 Parameter SINR

<i>Range</i> SINR (dB)	Kualitas
0-10	Buruk
10-20	Normal
20-30	Baik

Langkah berikutnya adalah menetapkan lokasi di sekitar antenna yang memiliki *range* SINR yang sesuai dengan tabel 3.1, dengan menggunakan *software* Gnet Probe pada perangkat UE yang memiliki sistem operasi Android. Setelah penentuan lokasi *range* SINR, dan dilakukan pengambilan data *drive test*, dengan menggunakan *software* Gnex Probe pada laptop yang sudah

terhubung dengan modem LTE. Pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan kegiatan *download file*, karena dari penelitian ini akan mengamati dalam arah *download*. Setelah kegiatan *download file*, kemudian didapatkan data yang dari hasil *drive test* berupa data *Key Performance Indicator* seperti pada berikut:

LTE	
Accessibility	
ERAB Setup Success Rate(%)	100.00
LTE RRC Setup Success Rate(%)	100.00
Call Setup Success Rate(%)	100.00
LTE Attach Success Rate(%)	-
Service Request(EPS) Success Rate(%)	100.00
CSFB Access Success Rate(%)	-
Coverage	
LTE DT Distance(m)	3996.17
LTE Coverage Rate(%)	99.38
Kilometer per Drop Service(km)	2.00
Time per Drop Service	0.04
Delay	
LTE Attach Success Time Delay Avg(ms)	-
Service Request(EPS) Time Delay Avg(ms)	105.42
Intra-Frequency HO Time Delay Avg(ms)	21.22
Inter-Frequency HO Time Delay Avg(ms)	-
ERAB Setup Time Delay Avg(ms)	3.00
RRC Setup Time Delay Avg(ms)	61.54
CSFB Access Time Delay Avg(ms)	-
Inter-RAT HO Time Delay Avg(ms)	-
Inter-RAT Redirection Time Delay Avg(ms)	-
Mobility	
IntraFreq HO Attempt Success Rate(%)	7.32
IntraFreq HO Success Rate(%)	100.00
InterFreq HO Success Rate(%)	-
TA Update Success Rate(%)	100.00
Inter-RAT Handover Success Rate(%)	-
Inter-RAT Redirection Success Rate(%)	-
Retainability	
Service Drop Rate(%)	16.67
Service integrity	
MAC Throughput UL Avg(kbit/s)	-
MAC Throughput DL Avg(kbit/s)	-
PHY Throughput UL Avg(kbit/s)	-
PHY Throughput DL Avg(kbit/s)	-
LTE RLC Throughput UL Avg(kbit/s)	-
LTE RLC Throughput DL Avg(kbit/s)	-
PDCP Throughput UL Avg(kbit/s)	-
PDCP Throughput DL Avg(kbit/s)	-

Gambar 3.2 Hasil data *drive test* dalam bentuk *Key Performance Indicator*

3.3 Proses Pengolahan Data

Setelah pengambilan data selesai, dan data *drive test* sudah didapatkan, kemudian dilakukan proses pengolahan data. Yaitu berupa pemindahan data dari *software Gnex probe* ke *software Microsoft Excel*. Hasil data yang sudah dipindahkan ke Microsoft Excel, kemudian dilakukan pengolahan data dengan memilih parameter yang akan dianalisa dalam penelitian tugas akhir ini, yang dapat ditampilkan pada tabel dibawah berikut:

Tabel 3.2 Parameter Uji Beserta Contoh Data yang Diolah

Parameter	Contoh Data
<i>Longitude</i>	112.6897717
<i>Latitude</i>	-7.31062667
<i>Date ; Time</i>	2016-05-13 ; 02:36:20.500
SINR (dB)	26.2
Kecepatan Akses (Mbps)	67.28457
<i>Set Name</i>	4541820E_LTE_WIYUNG

Dari data yang telah didapatkan, kemudian dibentuk kedalam bentuk grafik. Dimana sumbu X untuk besar kecepatan akses, sedangkan sumbu Y adalah besar SINR. Setelah didapatkan data besar SINR, dan besar kecepatan akses pada kondisi lapangan, kemudian dilakukan perhitungan secara teori. Untuk menghitung besar kecepatan akses secara teori dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan formulasi Shannon, dimana Bw adalah *bandwidth per user*.

$$C = Bw \log_2 (1 + \text{SINR}) \quad (3.1)$$

Berikut adalah contoh perhitungan untuk *range* SINR 20-30 dengan *bandwith* 10 Mhz dan pada set B

$$C = Bw \log_2 (1 + \text{SINR})$$

$$C = 10 \log_2 (1 + 30)$$

$$C = 10 \times 4.954$$

$C = 49.54 \text{ Mbps}$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 3.1 diatas, kemudian akan dilakukan analisa data ke dalam bentuk grafik pada Microsoft Excel. Dimana untuk sumbu Y adalah besar kecepatan akses, dan untuk sumbu X adalah besar SINR.

Kemudian dengan menggunakan aplikasi *Google Earth* sebagai penunjang dalam penentuan jarak antara antenna dengan lokasi uji pengambilan data. Seperti dijelaskan pada gambar dibawah berikut:



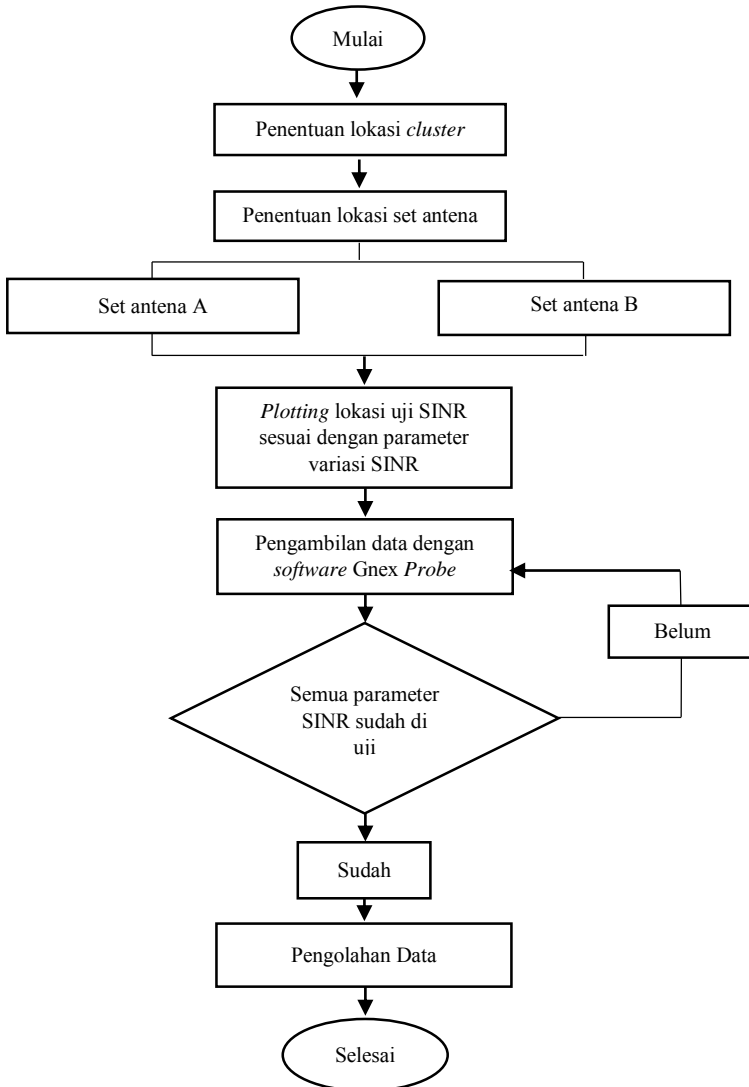
Gambar 3.3 Jarak antara antenna set B dengan lokasi uji

Dari data jarak antara antenna dengan lokasi uji, dapat di tentukan besar pengaruh jarak dengan besar SINR yang diperoleh, yang dapat di olah dengan grafik pada Microsoft Excel. Dimana sumbu X untuk besar jarak antara antenna dengan lokasi uji, dan sumbu Y adalah besar SINR.

Berikutnya analisa pengaruh jarak terhadap besarnya *path loss*, pada penelitian ini dengan perhitungan besar *path loss* menggunakan model Okumura Hata, seperti yang di jelaskan pada

bab II. Dari hasil perhitungan kemudian dibuat kedalam grafik, agar mudah untuk analisa pengaruh jarak terhadap *path loss*, dimana pada grafik sumbu X adalah untuk jarak, dan sumbu Y adalah untuk besar *path loss*. Dari hasil perhitungan *path loss* juga digunakan perbandingan antara besar SINR terhadap *path loss*, yang masing masing pada sumbu X dan sumbu Y. Untuk perjelas metodologi pada penelitian ini, maka dapat dilihat dalam diagram alir penelitian ini pada sub-bab 3.4 dibawah.

3.4 Diagram Alir Penelitian



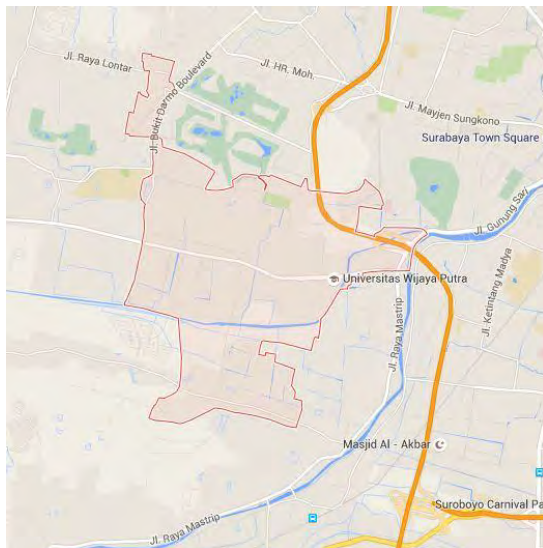
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengambilan data *drive test* pada penelitian tugas akhir ini yang telah tersusun pada bab sebelumnya, maka kemudian pada bab ini akan menjelaskan hasil dan analisa data dalam penelitian ini:

4.1 Umum

Dalam sistem telekomunikasi seluler jaringan LTE (*Long Term Evolution*) memiliki salah satu cara atau metode untuk menganalisa kualitas dari jaringan antenna ke pengguna, yaitu dengan melalui proses *drive test*. Sesuai yang tertera pada bab I diatas, penelitian ini berkerja sama dengan salah satu operator seluler yang menyediakan jasa jaringan LTE di Indonesia, yaitu perusahaan XL Axiata. Dalam penelitian ini proses pengambilan data dilakukan pada daerah wiyung, Surabaya selatan, atau berada pada *cluster* 10. Berikut wilayah cangkupan dari *cluster* 10:



Gambar 4.1 wilayah *cluster* 10 XL Surabaya

Pada gambar 4.1 diatas, *cluster* 10 atau daerah wiyung tergolong dengan wilayah pinggir perkotaan (sub urban) Surabaya, dengan jumlah penduduk 17735 pada tahun 2013, dan memiliki luas wilayah sebesar 354,870 Ha. Dengan memiliki ketinggian tanah dari permukaan laut mencapai 7 meter, banyaknya curah hujan sampai dengan 1.800 mm pertahun dengan suhu udara rata-rata 32 °C. Pada *cluster* 10 memiliki dua buah jaringan antenna, yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.1 Penamaan Set Antena Dalam Penelitian

Nama <i>Set</i> Antena	Penamaan dalam penelitian
4541820E_LTE_WIYUNG	SET A
454C904E_LTE_WIYUNG_ GRAHA FAMILY	SET B

Penamaan ulang *set* antena pada penelitian ini yang seperti pada tabel 4.1, bertujuan untuk memudahkan dalam pembahasan dan pengolahan data dalam penelitian ini. Kedua set antena pada *cluster* 10 memiliki jangkauan frekuensi masing-masing sebesar 10 MHz.

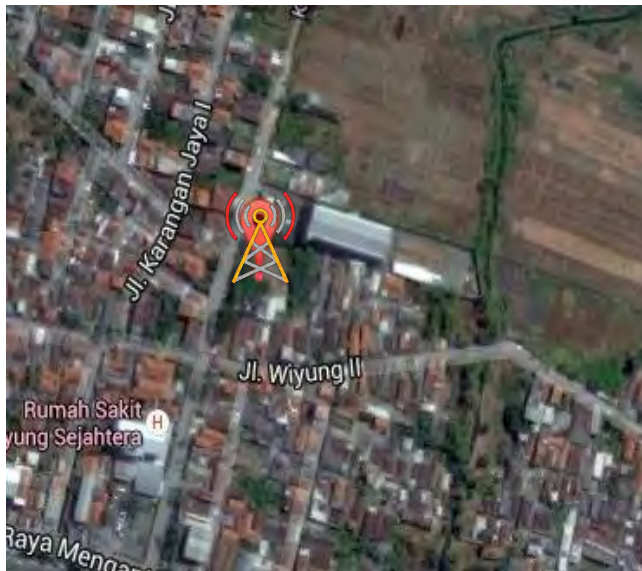
Penentuan lokasi uji pada penelitian ini sesuai dengan parameter *range* SINR yang sudah dijelaskan pada bab III dapat ditentukan dengan menggunakan aplikasi *Gnet Probe* pada perangkat Android. Setelah sudah didapatkan lokasi yang termasuk *range* SINR yang akan diuji, kemudian dilakukan pengambilan data dengan menggunakan *software* *Gnex Probe* pada lokasi tersebut. Pengambilan data pada penelitian ini dengan melakukan kegiatan *download file*. Kemudian setelah pengambilan data, dilakukan pengolahan data dengan menggunakan *software* Microsoft Excel. Hasil yang didapatkan setelah pengolahan data, berupa *Longitude*, *latitude*, *date ; time*, SINR (dB), kecepatan akses (Mbps), jarak (m), dan *Set Name*.

4.2 SINR Terhadap Besar Kecepatan Akses

Pada penelitian tugas akhir ini untuk analisa pengaruh SINR terhadap besar kecepatan akses dapat dibagikan kedalam sub-bab baru yang tertera sebagai berikut:

4.2.1 Lokasi Pada Set A

Pada set A dalam *cluster* 10 XL Surabaya, berada pada lokasi 7.310316 S; 112.688661 E, atau dapat digambarkan lokasi set A pada peta seperti pada gambar berikut:



Gambar 4.2 Lokasi set A

Pengambilan data pada set A dilakukan dari pukul 02.10 WIB hingga pukul 02.36 WIB pada tanggal 13 Mei 2016. Pengambilan data dilakukan dini hari dikarenakan untuk menghindari arus *traffic* yang besar jika dilakukan pengambilan data saat *busy hour* atau siang hari. Penentuan lokasi SINR untuk lokasi uji set A dapat di jelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4.2 Lokasi Uji *range* SINR Terhadap Set A

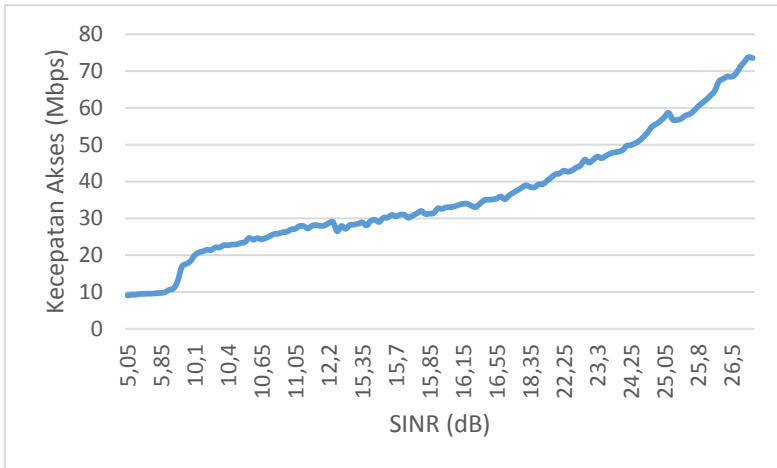
<i>Range</i> SINR	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
0-10	-7.31264000	112.6902000
10-20	-7.31164181	112.6878631
20-30	-7.31056228	112.6896905

Setelah penentuan lokasi uji, kemudian dilakukan pengambilan data dengan *software* Gnex Probe. Ditinjau dari tiap *range* SINR mulai dari 0 dB sampai 30 dB dengan memiliki *range* 10 dB tiap data SINR. Berikut ini adalah cuplikan data yang di dapatkan pada tiap variasi parameter *range* SINR:

Tabel 4.3 Cuplikan Data Pada Set A dengan *range* SINR 20-30

No	<i>Range</i> SINR (dB)	<i>Latitude</i> <i>Longitude</i>	Waktu	SINR (dB)	Kecepatan Akses (Mbps)
1	20-30	-7.31051833 112.6894033	02:33:14	24.70	53.36595
2		-7.31051667 112.689405	02:33:17	23.20	45.93902
3		-7.31051811 112.6894064	02:33:19	23.55	47.91819
4		-7.31051833 112.6894067	02:33:20	23.60	48.08881
5		-7.31051833 112.6894067	02:33:21	27.85	69.33073

Dari hasil data yang didapatkan pada tabel diatas, untuk *range* SINR 20-30 dB memiliki besar kecepatan akses rata-rata sebesar 54,63 Mbps. Dengan data yang sudah diolah, kemudian dalam set A, data dapat digambarkan pada grafik yang tertera dibawah berikut:



Gambar 4.3 Grafik perbandingan SINR terhadap besar kecepatan pada set A

Pada grafik diatas merupakan hasil perbandingan antara besar SINR dengan besar kecepatan akses, dimana apabila semakin besar SINR yang didapatkan, maka besar kecepatan akses yang didapatkan akan semakin besar. Dengan menghitung rata-rata besar kecepatan akses untuk setiap *range* SINR pada set A, maka didapatkan data seperti pada tabel berikut:

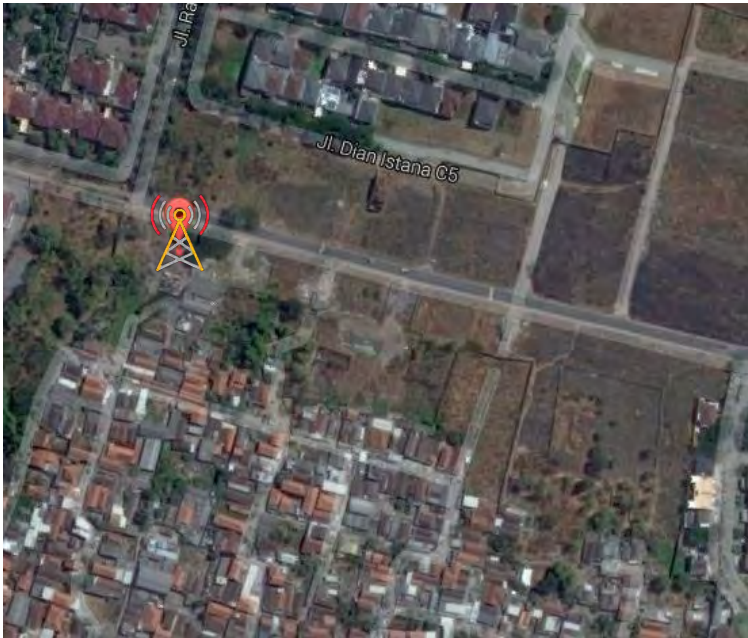
Tabel 4.4 Rata-rata Besar Kecepatan Akses Untuk Setiap *range* SINR pada Set A

<i>Range</i> SINR (dB)	Rata-rata SINR (dB)	Rata-rata Kecepatan Akses (Mbps)
0-10	9.4	20.54713
10-20	16.165	32.70513
20-30	24.798	54.64616

Dari tabel 4.4 dapat dilihat pada *range* SINR 0-10 dB memiliki besar kecepatan akses rata-rata paling kecil yaitu sebesar 20,54 Mbps, dibandingkan dengan *range* SINR 10-20 dB dan 20-30 dB yang memiliki kecepatan akses 32,70513 Mbps dan 54,64616 Mbps.

4.2.2 Lokasi Pada Set B

Untuk set B dalam *cluster* 10, berada pada lokasi 7.307286 S; 112.694510 E, atau dapat digambarkan lokasi set B pada peta seperti dalam gambar berikut:



Gambar 4.4 Lokasi set B

Untuk lokasi pada set B pengambilan data dilakukan pada pukul 00.23 WIB hingga pukul 01.48 WIB, pada tanggal yang sama dengan pengambilan data pada set A. Kemudian untuk

penentuan lokasi uji pengambilan data pada set B tiap parameter *range* SINR dapat dilihat pada tabel dibawah berikut:

Tabel 4.5 Lokasi Uji *range* SINR Terhadap Set B

<i>Range</i> SINR	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
0-10	-7.31372164	112.7007523
10-20	-7.30956615	112.699268
	-7.30794377	112.6993514
20-30	-7.30787608	112.6976036
	-7.30760168	112.6965434
	-7.30782679	112.6977855

Dilihat dari tabel 4.5 diatas, lokasi dari setiap *range* SINR berbeda jumlahnya, hal ini di karenakan adanya fluktuasi yang signifikan dari data SINR yang terbaca pada *software* Gnex probe, akibat fluktuasi SINR yang terus menerus maka akan mengakibatkan data kecepatan akses yang didapatkan tidak akurat. Ketidak akuratan kecepatan akses diatasi dengan melakukan penambahan lokasi uji untuk pengambilan data. Fluktuasi SINR yang cukup besar pada set B di sebabkan beberapa hal, pertama jarak dari lokasi uji ke antenna set B lebih jauh, dibandingkan dengan jarak pada set A. Penambahan jarak antara penerima dan pengirim, akan mengakibatkan gelombang yang dikirim dari antenna ke penerima selama transmisi data mengalami banyak gangguan. Gangguan selama transmisi gelombang ini bersifat acak, sehingga data SINR yang diterima pada penerima bersifat sangat fluktuatif.

Interferensi juga terjadi pada lokasi disekitar set antenna. Pada sekitar set antenna B terdapat dua buah tower antenna lainnya. Hal ini berbeda dengan pada set A yang hanya berdiri sendiri atau tidak memiliki tower tetangga. Peristiwa interferensi adalah peristiwa bertemunya dua muka gelombang atau lebih yang merambat pada satu jalur, yang bisa mengakibatkan gelombang destruktif.

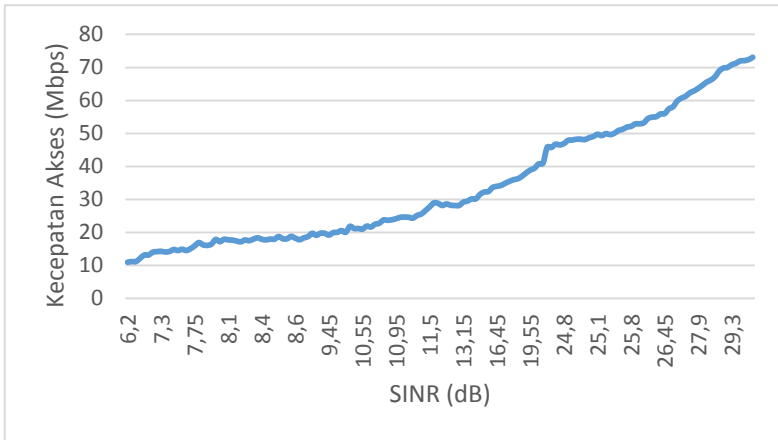
Dengan tinjauan dari tiap *range* SINR mulai dari 0 dB sampai 30 dB dengan memiliki *range* 10 dB tiap data SINR. Berikut

adalah cuplikan data yang di dapatkan pada tiap variasi parameter *range* SINR pada set B:

Tabel 4.6 Cuplikan Data Pada Set B dengan *range* SINR 20-30 dB

No	Range SINR (dB)	Latitude Longitude	Waktu	SINR (dB)	Kecepatan Akses (Mbps)
1	20-30	-7.30788500 112.69761	00:58:37	28.30	67.17457
2		-7.30787833 112.69761	00:59:05	24.80	38.50766
3		-7.30787833 112.69761	00:59:10	26.75	59.83015
4		-7.30787689 112.69761	00:59:12	25.80	50.15616
5		-7.30787833 112.69760	00:59:20	26.75	60.70509

Pada saat SINR sebesar 26.75 dB memiliki dua macam besar kecepatan akses 59.83 Mbps, dan 60.70 Mbps. Hal ini disebabkan adanya kondisi cuaca yang fluktuatif, dimana gelombang yang di transmisika sangat peka terhadap perubahan suhu sekitar. Pada tabel 4.6 diatas dapat dilihat lokasi uji berbeda beda tiap data yang diambil, hal ini merupakan ketidak akurat dari GPS pada *software* Gnex *Probe* yang disebabkan error penerimaan dan pengiriman data yang diakibatkan fluktuasi yang acak. Dari data yang sudah diolah, kemudian data pada set B dapat digambarkan pada grafik berikut:



Gambar 4.5 Grafik perbandingan SINR dengan besar kecepatan pada set B

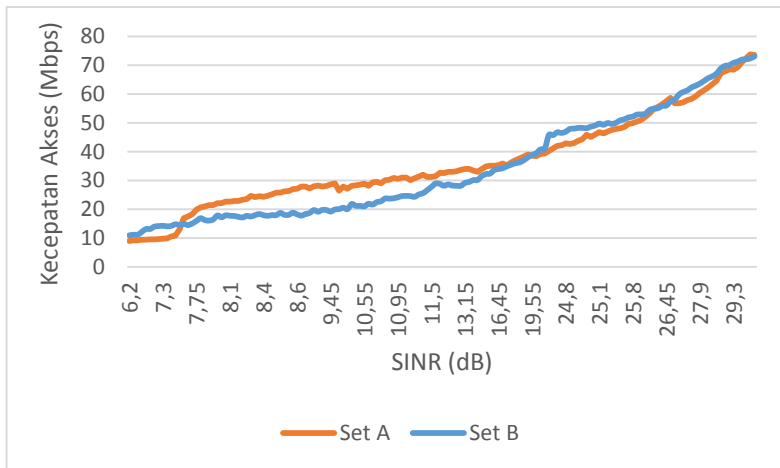
Dari gambar 4.5 dapat terlihat secara keseluruhan, bahwa semakin besar SINR maka kecepatan akses akan mengikuti semakin besar. Hal ini disebabkan semakin tinggi rasio perbandingan antara daya sinyal dengan daya gangguan, maka akan mengakibatkan rasio daya gangguan yang semakin kecil, serta rasio daya dari sinyal akan menjadi semakin besar. Untuk hasil rata-rata tiap *range* SINR pada set B dapat di ringkas pada tabel dibawah berikut:

Tabel 4.7 Rata-Rata Besar Kecepatan Akses Untuk Setiap *range* SINR Pada Set B

<i>Range</i> SINR (dB)	Rata-rata SINR (dB)	Rata-rata Kecepatan Akses (Mbps)
0-10	8.045	16.56266
10-20	13.491	27.01548
20-30	26.521	54.64534

4.2.3 Analisa Perbandingan SINR Set A dan Set B

Dari data yang sudah didapatkan pada set A dan set B, kemudian dibentuk grafik perbandingan besar SINR dan kecepatan akses pada set A, dan set B yang seperti digambarkan pada grafik gambar 4.8. Dari data yang sudah didapatkan pada set A memiliki SINR rata-rata 16,78 dB dengan besar kecepatan akses rata-rata 35,96 Mbps. Sedangkan untuk set B memiliki SINR rata-rata 16,01 dB dengan kecepatan akses rata-rata sebesar 34,03 Mbps.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan antara set A dengan set B

Perbedaan besar rata-rata SINR pada kedua set antenna tidak memiliki selisih yang cukup signifikan, yaitu sebesar 0,77 dB dan perbedaan rata-rata kecepatan akses memiliki selisih 1,93 Mbps. Selisih antara besar SINR pada antenna set A, dan set B disebabkan kondisi lingkungan yang berbeda di daerah set A dan set B yang berbeda. Kondisi lingkungan akan mempengaruhi dari SINR yang terbentuk. Beberapa kondisi lingkungan seperti peristiwa pembelokan, dan penyerapan daya yang bergantung dengan koefisien refleksi dan koefisien dari transmisi dari penghalang yang mempengaruhi transmisi gelombang dari antenna menuju penerima. Setiap bahan penyusun dari medium yang dilalui

gelombang memiliki suceptibilitas yang berbeda-beda, sehingga pembelokan, penyerapan gelombang memiliki karakter masing-masing. Kemudian pengaruh dari adanya jaringan kabel listrik, dan lampu jalan, yang mengakibatkan adanya gangguan secara gelombang elektromagnetik yang mengakibatkan pelembahan gelombang yang ditransmisikan menuju penerima.

4.3 Perbandingan Perhitungan Kecepatan Akses Secara Teori dengan Data Lapangan

Dari data yang sudah didapatkan kemudian dilakukan perhitungan kecepatan akses secara teori dengan pendekatan Shannon, yang sudah di jelaskan pada bab 3. Berikut adalah hasil perhitungan data yang telah didapatkan:

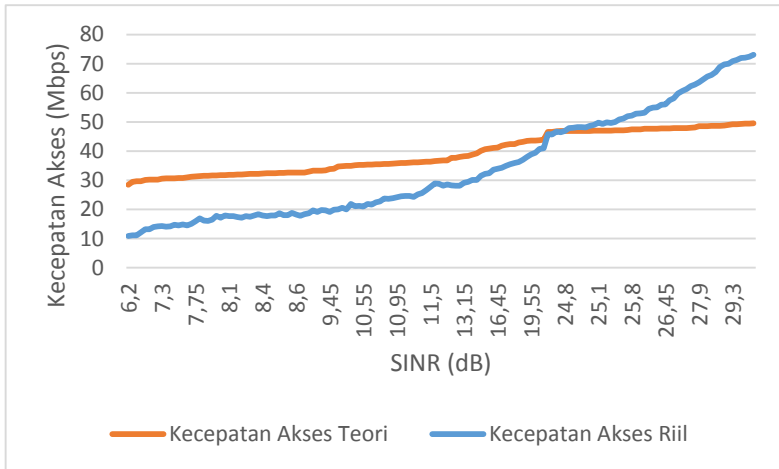
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Kecepatan Akses Secara Teori dengan Secara Riil pada Set A

SINR	Kecepatan Akses Secara Teori	Kecepatan Akses Riil
23.2	45.96935	45.93902
23.3	46.02884	46.78183
23.5	46.1471	47.57552
23.8	46.32268	48.53032
24.2	46.55352	49.70671

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Kecepatan Akses Secara Teori dengan Secara Riil pada Set B

SINR	Kecepatan Akses Secara Teori	Kecepatan Akses Riil
20	43.92317	40.97934
24.8	46.89299	46.50766
24.85	46.92092	47.9001
24.9	46.9488	48.2507
24.95	46.97663	48.24877

Kemudian setelah dibuat kedalam tabel, data disajikan kedalam bentuk grafik agar mempermudah dalam analisa data. Berikut gambar grafik perbandingan hasil kecepatan akses secara teori dengan secara riil:



Gambar 4.7 Grafik perbandingan hasil kecepatan akses secara teori dengan secara riil pada set B

Dari gambar 4.8, terdapat perbedaan besar kecepatan akses secara teori, dan dengan data riil. Dimana garis warna biru mewakili kecepatan akses kondisi nyata, dan warna *orange* untuk kecepatan akses secara teori. Perbedaan ini dinamakan istilah *overhead*, *overhead* ini disebabkan karena beberapa parameter tidak termasuk kedalam perhitungan kecepatan akses secara teori. Seperti *loss* pada kabel antenna, kemudian *body loss* atau rugi yang disebabkan karena interaksi interferensi antara pengguna saat pengambilan data, dan EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) yaitu nilai daya pancar dari antenna yang tidak diketahui. Pada set A memiliki *overhead* sebesar 27% sedangkan untuk set B memiliki *overhead* sebesar 33% .

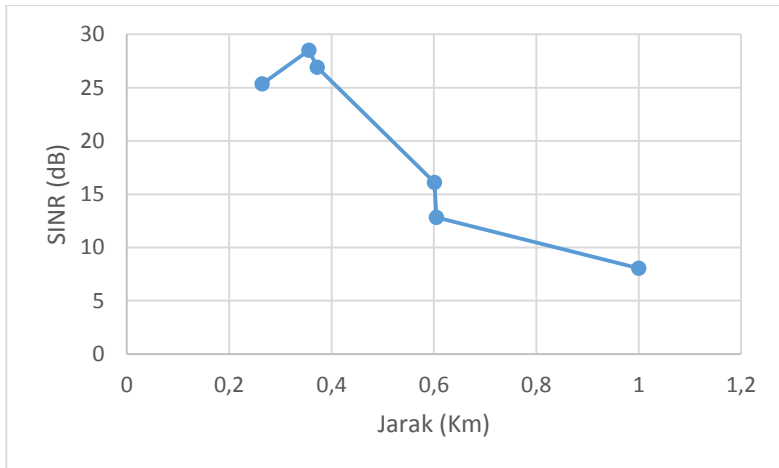
4.4 Pengaruh Besar Jarak terhadap SINR, dan *Path Loss*

Dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan aplikasi Google Earth untuk memudahkan dalam menentukan jarak antara antenna dengan lokasi uji pengambilan data. Pada gambar dibawah ini merupakan, pengambilan data pada set B untuk *range* SINR 20-30.



Gambar 4.8 Jarak antara antenna dengan lokasi uji pada set B

Pada set A, memiliki tiga variasi data jarak dari lokasi uji menuju antenna, dengan masing-masing dari ketiga variasi data jarak mewakili parameter *range* SINR, yang kemudian di hitung rata-rata SINR tiap variasi jarak. Kemudian untuk set antenna B, memiliki enam variasi jarak. Dengan satu variasi untuk *range* SINR 0-10 dB, kemudian dua variasi pada SINR 10-20 dB, dan tiga variasi jarak untuk SINR 20-30 dB. Berikut gambar grafik yang didapatkan untuk perbandingan SINR terhadap jarak pada set B.

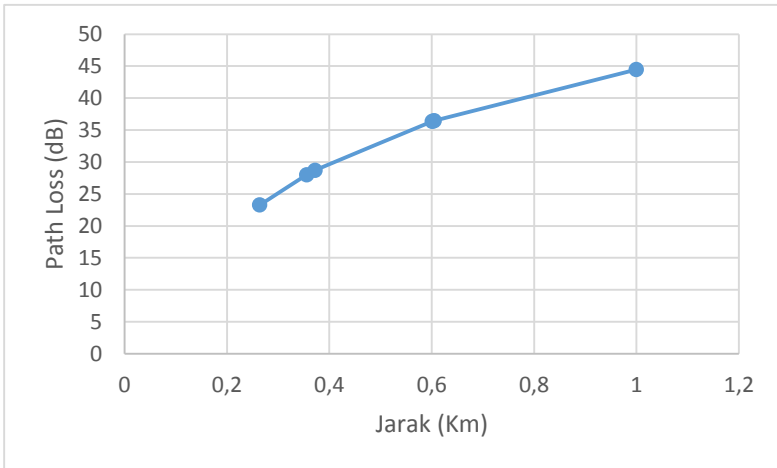


Gambar 4.9 Perbandingan SINR terhadap jarak antenna pada set antenna B

Dari gambar 4.9 dapat dilihat secara keseluruhan bahwa semakin jauh jarak antara antenna dengan lokasi uji, akan mengakibatkan SINR akan semakin kecil nilainya, dan sebaliknya apabila jarak antara antenna dengan lokasi uji semakin dekat maka akan berakibat SINR akan semakin besar. Namun pada grafik diatas dapat dilihat bahwa pada jarak 0,35 Km, memiliki SINR yang lebih besar dari pada jarak 0,26 Km, hal ini bisa disebabkan dari kondisi lingkungan pada jarak 0,35 Km sangat baik untuk transmisi data, sehingga memiliki rasio *noise* nya yang lebih kecil dari pada rasio *noise* pada jarak yang lain. Kondisi lingkungan yang baik bisa berupa, suhu yang lebih rendah, dan sedikit adanya penghalang yang dapat menyebabkan sinyal yang dikirim tidak terabsorsi.

Untuk perhitungan besar *path loss* dengan model Okumura Hata yang sudah di jelaskan pada bab II sebelumnya. Pada penelitian ini hasil perhitungan *path loss* akan dapat membandingkan besar jarak terhadap besar kecepatan akses, dan dengan *path loss* yang di dapatkan. Dengan menggunakan

persamaan 2.39 , 2.40 , 2.41, dan persamaan 2.42 untuk perhitungan besar *path loss* pada penelitian ini, dimana tinggi antenna pada set A adalah sebesar 15 meter, sedangkan untuk set antenna B adalah 18 meter.



Gambar 4.10 Perbandingan *path loss* dengan jarak antara antenna dengan lokasi uji pada set B

Pada penelitian ini bahwa hubungan antara SINR dengan jarak adalah berbanding terbalik, sebab, saat jarak antara antenna dengan pengguna yang semakin menjauh, hal ini akan mengakibatkan peluang *noise* yang secara acak muncul akan semakin besar. Kemudian akibat semakin jauh jarak sinyal yang di transmisikan akan mengalami pengurangan daya, atau dapat disebut *path loss*. Pengurangan daya ini akan berakibat terhadap parameter *noise* dalam perhitungan SINR. Sebuah gelombang yang berjalan yang ditransmisikan oleh antenna menuju penerima, memiliki daya awal yang maksimal saat pertama kali ditransmisikan. Kemudian dengan bertambahnya jarak perjalanan dari gelombang ini akan memakan energi untuk sebuah gelombang itu merambat pada medium. Medium ini sendiri juga akan memiliki faktor terhadap

pengurangan daya dari gelombang yang dikirimkan. Sehingga SINR nilainya akan semakin kecil saat jarak antara antena semakin jauh dari pengguna, hal ini disebabkan pembagi rasio dari *noise* dan *interference* bertambah semakin besar, sedangkan besar dari daya sinyal tetap.

Pada analisa *path loss* dengan kecepatan akses dalam penelitian ini menggunakan rata-rata kecepatan akses setiap variasi jarak yang digunakan. *Path loss* akan semakin besar apabila jarak antara antena dengan lokasi uji bertambah. Dimana pengaruh jarak yang semakin jauh antara antena pengirim dengan lokasi uji akan menyebabkan banyak pengaruh penghalang untuk gelombang yang dikirimkan. Dengan banyaknya penghalang, ada yang bersifat meredam gelombang, seperti saat gelombang menumbuk materi bersifat konduktor baik. Penyerapan atau peredaman gelombang ini akan melemahkan daya gelombang yang dikirimkan dari antena.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian tugas akhir ini yang berjudul analisa faktor pengaruh terhadap besar kecepatan akses pada arah *downlink* dalam sistem jaringan komunikasi LTE, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. SINR berbanding lurus terhadap kecepatan akses data, ketika semakin besar nilai SINR, maka kecepatan akses data akan semakin cepat. Hal ini disebabkan adanya pengaruh *noise* yang mengurangi daya dari sinyal yang ditransmisikan.
2. Hasil *overhead* pada penelitian ini untuk set A memiliki *overhead* sebesar 27% sedangkan untuk set B memiliki *overhead* lebih besar karena terdapat antena tetangga di lingkungannya yang jaraknya cukup dekat yaitu sebesar *overhead* sebesar 33% .
3. Pengaruh jarak antara antena pengirim dan penerima terhadap besar SINR berbanding terbalik, sedangkan *path loss* akan semakin besar nilainya apabila jarak antara antena pengirim dan penerima semakin jauh.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, maka saran yang dapat diberikan penulis adalah dilakukan penelitian lebih lanjut dalam arah sebaliknya, yaitu untuk arah *uplink* pada sistem komunikasi LTE, serta melakukan penelitian pada daerah *urban* atau pertengahan kota. Kemudian dengan memaksimal kan besar SINR dari daya sinyal yang dikirimkan dari antena pengirim, akan memperbesar kecepatan akses data yang diterima.

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- A. Peled, A. Ruiz. 1980. **Frequency Domain Data Transmission using Reduced Computational Complexity Algorithms**. Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Vol. 5, pp. 964–967
- ATM Shafiul Alam. 2008. **Introduction to Data Communications**. London: Faculty of Engineering, Science and the Built Environment Department of Electrical, Computer and Communications Engineering London South Bank University.
- C. Gessner., A. Roessler., M. Kottkamp. 2012. **UMTS Long Term Evolution (LTE) - Technology Introduction**. German: ROHDE&SCHWARS.
- Cho Y.S, Kim J, Yang W. Young, Chung G. Kang. 2010. **MIMO-OFDM WIRELESS COMMUNICATIONS WITH MATLAB**. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Christos Papavassiliou. 2008. **Instrumentation**. London: Imperial College.
- H. Burcu. 2009. **LTE: Der Mobilfunk der Zukunft SC-FDMA and LTE Uplink Physical Layer Design**. Jerman: Ausgewählte Kapitel der Nachrichtentechnik.
- Holma, H., Toskala, A. 2009. **LTE for UMTS-OFDMA and SC-FDMA based radio access**. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Ingle, V.K. 2000. **Digital Signal Processing**. Boston: Penerbit Brooks/Cole.
- Oppenheim, A.V. 2001. **Sinyal dan Sistem: Jilid 2**. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Ranvier, S. 2004. **Path Loss Model, Physical Layer Methods in Wireless Communication Systems**. Helsinki: Helsinki University of Technology
- Riyansah, Deris. 2010. **Long Term Evolution (LTE) dan Base Traseiver Station (BTS)**. Tesis. Depok: Universitas Indonesia.

- Rohling H. 2011. **OFDM Concepts for Future Communication Systems**. German: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Sadiku, Matthew, N O. 2000. **Elements of Electromagnetics**. New York: Oxford University Press Inc
- Sainju Man P. 2012. **LTE Performance Analysis On 800 and 1800 MHz Bands**. Master of Science Thesis. Finlandia: Tampere University Of Technology.
- Sesia, Stefania, Issam Toufik. 2011. **LTE The UMTS Long Term Evolution**. United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.
- Zyren Jim, Dr. Wes McCoy. 2007. **Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer**. Amerika: Freescale Semiconductor.Inc.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Laporan Data Pada Set A

Tabel 1. Data pada *Range* SINR 0-10 dB

<i>No</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Date time</i>	<i>Serving PCC SINR_DL WIYUNG</i>	<i>PDCP Throughput DL_DL WIYUNG</i>
1	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:39.500	8.3	16.89652
2	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:40.500	9.2	17.59546
3	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:41.500	11.4	27.94459
4	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:42.500	11.2	27.88405
5	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:43.500	10.45	22.89231
6	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:44.500	5.6	9.43824
7	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:45.500	5.95	9.93018
8	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:46.500	11.2	27.88505
9	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:47.500	11.55	28.06968
10	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:48.500	6.1	10.93443
11	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:49.500	12.3	28.98241
12	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:50.500	11	26.19659
13	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:51.500	5.8	9.66139
14	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:52.500	11.2	27.2443
15	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:53.500	11.35	28.17733
16	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:54.500	10.35	21.02876
17	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:55.500	5.6	9.45067
18	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:56.500	10.1	19.89739

19	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:57.500	5.45	9.23688
20	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:58.500	10.4	22.08128
21	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:10:59.500	10.45	22.91441
22	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:00.500	10.35	21.4451
23	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:01.500	12.2	28.70271
24	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:02.500	10.4	22.08282
25	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:03.500	10.55	23.28739
26	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:05.500	5.7	9.52191
27	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:06.500	10.25	20.708
28	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:07.500	9.8	18.28821
29	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:08.500	10.4	22.69853
30	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:09.500	5.05	9.04263
31	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:10.500	10.35	21.38796
32	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:11.500	10.55	23.53034
33	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:12.500	10.7	25.19375
34	112.6902	-7.31264	2016-05-13 02:11:13.500	10.8	25.74379
35	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:14.500	11.25	27.97014
36	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:15.500	6	10.58662
37	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:16.500	10.85	25.83121
38	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:17.500	5.7	9.53563
39	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:18.500	10.65	24.19265
40	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:19.500	10.65	24.59183
41	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:20.500	10.65	24.31088

42	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:21.500	10.6	24.65002
43	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:22.500	11	26.34183
44	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:23.500	5.3	9.18375
45	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:24.500	5.85	9.71853
46	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:25.500	11	26.98199
47	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:26.500	11.05	27.13986
48	112.6903	-7.31264	2016-05-13 02:11:27.500	6.35	12.99482
49	112.6903	-7.31263	2016-05-13 02:11:28.500	10.4	22.69141
50	112.6903	-7.31263	2016-05-13 02:11:29.500	10.65	24.66037

Tabel 2. Data pada *Range* SINR 10-20 dB

<i>No</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Date time</i>	<i>Serving PCC SINR_DL WIYUNG</i>	<i>PDCP Throughput DL_DL WIYUNG</i>
1	112.68785	-7.31165	2016-05-13 02:20:57.500	17	36.98469
2	112.6878514	-7.31165	2016-05-13 02:20:58.500	16.7	35.19995
3	112.6878517	-7.31165	2016-05-13 02:20:59.500	16.5	34.89366
4	112.6878517	-7.31165	2016-05-13 02:21:00.500	16.25	33.41864
5	112.687853	-7.3116487	2016-05-13 02:21:01.500	16.2	33.9675
6	112.6878533	-7.31164833	2016-05-13 02:21:02.500	16.3	33.95646
7	112.6878533	-7.31164833	2016-05-13 02:21:03.500	16.15	33.66724
8	112.6878547	-7.31164833	2016-05-13 02:21:04.500	14.25	27.16148
9	112.687855	-7.31164833	2016-05-13 02:21:05.500	16.5	35.06728
10	112.687855	-7.31164833	2016-05-13 02:21:06.500	15.45	29.33603
11	112.687855	-7.31164711	2016-05-13 02:21:07.500	15.85	31.99473

12	112.687855	-7.31164667	2016-05-13 02:21:08.500	15.75	30.97177
13	112.687855	-7.31164667	2016-05-13 02:21:09.500	15.5	29.01455
14	112.6878563	-7.31164667	2016-05-13 02:21:10.500	16.1	33.02662
15	112.6878578	-7.31164385	2016-05-13 02:21:12.500	15.55	30.92672
16	112.6878596	-7.31164333	2016-05-13 02:21:13.500	15.3	28.52501
17	112.68786	-7.31164199	2016-05-13 02:21:14.500	15.8	31.34021
18	112.6878614	-7.31164167	2016-05-13 02:21:15.500	15.5	30.1542
19	112.6878617	-7.31164014	2016-05-13 02:21:16.500	15.45	29.58798
20	112.6878617	-7.31164	2016-05-13 02:21:17.500	15.85	31.19977
21	112.6878629	-7.31164	2016-05-13 02:21:18.500	13.6	26.48485
22	112.6878633	-7.31164	2016-05-13 02:21:19.500	16	32.9988
23	112.6878633	-7.31164	2016-05-13 02:21:20.500	15.85	31.26304
24	112.6878633	-7.31164	2016-05-13 02:21:21.500	15.7	30.53648
25	112.6878633	-7.31164	2016-05-13 02:21:22.500	15.9	32.70421
26	112.6878647	-7.31164	2016-05-13 02:21:23.500	15.5	30.19917
27	112.687865	-7.31164	2016-05-13 02:21:24.500	15.15	28.16094
28	112.687865	-7.31164	2016-05-13 02:21:25.500	15.25	28.27874
29	112.687865	-7.31164	2016-05-13 02:21:26.500	15.95	32.57109
30	112.687865	-7.31164	2016-05-13 02:21:27.500	15.4	28.08457
31	112.6878666	-7.31163837	2016-05-13 02:21:28.500	15.35	28.90234
32	112.6878667	-7.31163833	2016-05-13 02:21:29.500	16.15	33.95347
33	112.6878667	-7.31163833	2016-05-13 02:21:30.500	15.75	30.15116
34	112.6878667	-7.31163833	2016-05-13 02:21:31.500	16.25	33.04927

35	112.6878667	-7.31163833	2016-05-13 02:21:32.500	15.85	31.43229
36	112.6878667	-7.31163833	2016-05-13 02:21:33.500	16.1	33.24604
37	112.6878681	-7.31163833	2016-05-13 02:21:34.500	16.55	35.36786
38	112.6878683	-7.31163833	2016-05-13 02:21:35.500	15.7	30.99202
39	112.6878683	-7.31163833	2016-05-13 02:21:36.500	14.1	27.9213
40	112.6878683	-7.31163833	2016-05-13 02:21:37.500	15.75	30.74156
41	112.6878696	-7.31163833	2016-05-13 02:21:38.500	16.5	35.13593
42	112.68787	-7.31163833	2016-05-13 02:21:39.500	16.6	35.93655
43	112.6878711	-7.31163833	2016-05-13 02:21:40.500	16.8	36.26677
44	112.6878717	-7.31163833	2016-05-13 02:21:41.500	17.25	37.64233
45	112.6878717	-7.31163833	2016-05-13 02:21:42.500	18.75	39.25203
46	112.6878729	-7.31163833	2016-05-13 02:21:43.500	18.1	38.99064
47	112.6878733	-7.31163833	2016-05-13 02:21:44.500	18.35	38.54592
48	112.6878748	-7.31163683	2016-05-13 02:21:45.500	18.4	38.41475
49	112.687875	-7.31163667	2016-05-13 02:21:46.500	19.85	39.29481
50	112.6878764	-7.31163667	2016-05-13 02:21:47.500	17.85	38.34314

Tabel 3. Data pada *Range* SINR 20-30 dB

<i>No</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Date time</i>	<i>Serving PCC SINR_DL WIYUNG</i>	<i>PDCP Throughput DL_DL WIYUNG</i>
1	112.6894033	-7.31051833	2016-05-13 02:33:14.500	24.7	53.36595
2	112.689405	-7.31051667	2016-05-13 02:33:17.500	23.2	45.93902
3	112.6894064	-7.31051811	2016-05-13 02:33:19.500	23.55	47.91819
4	112.6894067	-7.31051833	2016-05-13 02:33:20.500	23.6	48.08881

5	112.6894067	-7.31051833	2016-05-13 02:33:21.500	27.85	69.33073
6	112.6894067	-7.31051833	2016-05-13 02:33:22.500	24.25	49.91486
7	112.6894067	-7.31051833	2016-05-13 02:33:23.500	23.45	46.97359
8	112.6894081	-7.31051833	2016-05-13 02:33:26.500	25.25	56.74107
9	112.6894083	-7.31051833	2016-05-13 02:33:27.500	24.8	54.89395
10	112.6894083	-7.31050167	2016-05-13 02:34:05.500	21	40.18955
11	112.6896796	-7.31048333	2016-05-13 02:34:32.500	30	73.81376
12	112.6896922	-7.3104823	2016-05-13 02:34:33.500	22.3	42.67414
13	112.689728	-7.31048	2016-05-13 02:34:36.500	21.95	41.98062
14	112.689751	-7.31048442	2016-05-13 02:34:39.500	22.1	42.19521
15	112.6897597	-7.31049035	2016-05-13 02:34:41.500	23.35	46.35661
16	112.6897667	-7.31050374	2016-05-13 02:34:44.500	21.5	41.08062
17	112.6897667	-7.31051309	2016-05-13 02:34:45.500	23.8	48.53032
18	112.6897667	-7.31052118	2016-05-13 02:34:46.500	23.5	47.57552
19	112.6897667	-7.31052933	2016-05-13 02:34:49.500	22.25	42.94246
20	112.6897667	-7.31053167	2016-05-13 02:34:52.500	23.2	45.13083
21	112.6897667	-7.31053437	2016-05-13 02:34:54.500	25.05	57.53083
22	112.6897657	-7.31053702	2016-05-13 02:34:55.500	23.15	44.37427
23	112.689765	-7.31053833	2016-05-13 02:34:56.500	23	43.04766
24	112.689765	-7.31053833	2016-05-13 02:34:57.500	23.05	43.8127
25	112.689765	-7.31054539	2016-05-13 02:34:59.500	24.85	55.61244
26	112.6897645	-7.31055784	2016-05-13 02:35:07.500	25.65	57.9523
27	112.6897589	-7.31056444	2016-05-13 02:35:16.500	24.2	49.70671

28	112.6897583	-7.31056594	2016-05-13 02:35:17.500	26.35	68.5841
29	112.6897583	-7.31056864	2016-05-13 02:35:18.500	24.9	56.44334
30	112.6897583	-7.31057157	2016-05-13 02:35:19.500	23.3	46.78183
31	112.68976	-7.31058024	2016-05-13 02:35:22.500	26.3	67.93097
32	112.6897623	-7.31058895	2016-05-13 02:35:27.500	30	73.57161
33	112.689764	-7.31059139	2016-05-13 02:35:28.500	25.8	60.4384
34	112.689765	-7.31059604	2016-05-13 02:35:30.500	25.7	58.35232
35	112.6897658	-7.31060318	2016-05-13 02:35:33.500	24.3	50.41692
36	112.689766	-7.31060667	2016-05-13 02:35:35.500	25.85	61.36413
37	112.6897733	-7.31063167	2016-05-13 02:35:51.500	29.8	72.48109
38	112.6897733	-7.31063215	2016-05-13 02:35:53.500	26.15	64.71755
39	112.6897733	-7.31063333	2016-05-13 02:35:54.500	24.35	51.0576
40	112.6897703	-7.31063333	2016-05-13 02:36:00.500	25.3	57.12062
41	112.68977	-7.310635	2016-05-13 02:36:07.500	24.4	52.1598
42	112.6897717	-7.310635	2016-05-13 02:36:11.500	25.75	59.19567
43	112.6897717	-7.310635	2016-05-13 02:36:12.500	25.95	63.42687
44	112.6897717	-7.31063425	2016-05-13 02:36:13.500	26.5	68.51191
45	112.6897717	-7.31063167	2016-05-13 02:36:14.500	25.9	62.29341
46	112.6897717	-7.31063167	2016-05-13 02:36:15.500	29.1	71.10023
47	112.6897717	-7.3106295	2016-05-13 02:36:18.500	25.05	58.67742
48	112.6897717	-7.31062731	2016-05-13 02:36:19.500	25.15	56.80598
49	112.6897717	-7.31062667	2016-05-13 02:36:20.500	26.2	67.28457
50	112.6897705	-7.310625	2016-05-13 02:36:23.500	23.25	45.91888

Lampiran 2 Laporan Data Pada Set B

Tabel 4. Data pada *Range* SINR 0-10 dB

<i>No</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Date time</i>	<i>Serving PCC SINR_DL WIYUNG GRAHA FAMILY</i>	<i>PDCP Throughput DL_DL WIYUNG GRAHA FAMILY</i>
1	112.7007817	-7.313765	2016-05-13 00:23:04.500	7.4	14.07559
2	112.700781	-7.313765	2016-05-13 00:23:05.500	8	17.85968
3	112.70078	-7.313765	2016-05-13 00:23:06.500	8.65	17.7845
4	112.7007791	-7.31376364	2016-05-13 00:23:07.500	7.7	15.06079
5	112.7007753	-7.3137586	2016-05-13 00:23:08.500	9.15	19.71698
6	112.700772	-7.3137553	2016-05-13 00:23:09.500	9.55	19.93589
7	112.7007689	-7.3137522	2016-05-13 00:23:10.500	7.45	14.50589
8	112.7007672	-7.31375	2016-05-13 00:23:11.500	8.8	18.72421
9	112.7007683	-7.31375091	2016-05-13 00:23:12.500	8.55	18.73658
10	112.7007691	-7.3137524	2016-05-13 00:23:13.500	7.75	15.93667
11	112.70077	-7.31375265	2016-05-13 00:23:14.500	8.55	18.06271
12	112.7007693	-7.31375093	2016-05-13 00:23:15.500	9.45	19.19794
13	112.7007683	-7.31375	2016-05-13 00:23:16.500	7.9	16.23059
14	112.700769	-7.31375071	2016-05-13 00:23:17.500	9.05	19.72681
15	112.7007713	-7.31375167	2016-05-13 00:23:18.500	7.1	13.16133
16	112.7007717	-7.31375167	2016-05-13 00:23:19.500	8.35	17.97479
17	112.7007723	-7.31375227	2016-05-13 00:23:21.500	8.65	18.33977
18	112.700774	-7.31375333	2016-05-13 00:23:22.500	8.25	17.70686
19	112.7007758	-7.31375292	2016-05-13 00:23:23.500	7.4	14.22373

20	112.7007798	-7.31375167	2016-05-13 00:23:24.500	8.15	17.66931
21	112.7007826	-7.31375167	2016-05-13 00:23:25.500	9.05	19.13473
22	112.700784	-7.31375233	2016-05-13 00:23:26.500	7.15	13.16186
23	112.7007867	-7.31375333	2016-05-13 00:23:27.500	8.45	17.73905
24	112.7007889	-7.31375333	2016-05-13 00:23:28.500	9.05	19.76873
25	112.70079	-7.31375228	2016-05-13 00:23:29.500	8.2	17.39123
26	112.7007895	-7.31374898	2016-05-13 00:23:30.500	8.6	18.07367
27	112.7007868	-7.31374511	2016-05-13 00:23:31.500	8.05	17.20514
28	112.7007824	-7.31374023	2016-05-13 00:23:32.500	8.05	17.92295
29	112.7007789	-7.31373506	2016-05-13 00:23:33.500	7.45	14.88629
30	112.7007754	-7.31372977	2016-05-13 00:23:34.500	7.6	14.50788
31	112.7007716	-7.31372495	2016-05-13 00:23:35.500	7.3	14.26508
32	112.7007669	-7.31371952	2016-05-13 00:23:36.500	8.6	18.78968
33	112.7007627	-7.31371495	2016-05-13 00:23:37.500	8.2	17.14956
34	112.7007567	-7.31370998	2016-05-13 00:23:38.500	6.85	11.16146
35	112.7007512	-7.31370448	2016-05-13 00:23:39.500	7.4	14.80703
36	112.7007448	-7.31369748	2016-05-13 00:23:40.500	8.1	17.7297
37	112.7007388	-7.31369049	2016-05-13 00:23:41.500	6.7	11.1618
38	112.7007333	-7.31368552	2016-05-13 00:23:42.500	8.35	18.35799
39	112.7007284	-7.31368227	2016-05-13 00:23:43.500	7.9	16.06976
40	112.7007233	-7.31367885	2016-05-13 00:23:44.500	7.15	13.9914
41	112.7007185	-7.31367566	2016-05-13 00:23:45.500	8.45	17.97633
42	112.7007087	-7.31366869	2016-05-13 00:23:47.500	8.45	17.95082

43	112.7006871	-7.31365541	2016-05-13 00:23:52.500	6.2	10.961
44	112.7006841	-7.31365286	2016-05-13 00:23:53.500	7.15	14.16133
45	112.7006803	-7.31365026	2016-05-13 00:23:54.500	8.4	17.92738
46	112.7006769	-7.31364737	2016-05-13 00:23:55.500	7.85	16.91454
47	112.7006723	-7.31364446	2016-05-13 00:23:56.500	8.3	17.48454
48	112.7006695	-7.31364279	2016-05-13 00:23:57.500	8.6	18.23168
49	112.7006675	-7.31364081	2016-05-13 00:23:58.500	6.85	12.16079
50	112.7006634	-7.31363727	2016-05-13 00:23:59.500	7.95	16.4592

Tabel 5. Data pada *Range* SINR 10-20 dB

<i>No</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Date time</i>	<i>Serving PCC SINR_DL WIYUNG GRAHA FAMILY</i>	<i>PDCP Throughput DL_DL WIYUNG GRAHA FAMILY</i>
1	112.699225	-7.30954833	2016-05-13 00:39:38.500	10.1	20.05094
2	112.6992217	-7.30954667	2016-05-13 00:39:47.500	11.05	24.57966
3	112.6992232	-7.30954833	2016-05-13 00:39:53.500	10.55	21.00926
4	112.6992217	-7.30954667	2016-05-13 00:39:55.500	10.75	22.78749
5	112.69922	-7.30954333	2016-05-13 00:40:10.500	10.45	21.16093
6	112.69922	-7.30954333	2016-05-13 00:40:11.500	12.6	28.23911
7	112.6992818	-7.30957012	2016-05-13 00:46:11.500	15.8	29.23323
8	112.6992817	-7.30957	2016-05-13 00:46:12.500	11.6	28.95348
9	112.6992802	-7.30957	2016-05-13 00:46:14.500	11.25	24.31935
10	112.69928	-7.30956837	2016-05-13 00:46:15.500	10.3	21.84297
11	112.69928	-7.30956937	2016-05-13 00:46:16.500	10.7	22.48566

12	112.69928	-7.30957	2016-05-13 00:46:17.500	17.95	30.39303
13	112.69928	-7.30957	2016-05-13 00:46:18.500	19.65	34.6831
14	112.6992784	-7.3095684	2016-05-13 00:46:19.500	11.45	26.62944
15	112.6992767	-7.30956833	2016-05-13 00:46:20.500	10.2	20.54582
16	112.6992767	-7.30956671	2016-05-13 00:46:21.500	13.3	28.48897
17	112.6992767	-7.30956667	2016-05-13 00:46:22.500	16.45	30.17491
18	112.6992767	-7.30956667	2016-05-13 00:46:23.500	19	32.02602
19	112.6992767	-7.30956826	2016-05-13 00:46:24.500	19.5	32.04193
20	112.6992767	-7.30956835	2016-05-13 00:46:25.500	19.55	33.90398
21	112.6992767	-7.30957	2016-05-13 00:46:27.500	10.6	21.90686
22	112.6992767	-7.30957	2016-05-13 00:46:28.500	10.85	23.68322
23	112.6992767	-7.30957	2016-05-13 00:46:29.500	10.5	21.1889
24	112.6992752	-7.30957	2016-05-13 00:46:30.500	10.95	24.16173
25	112.699275	-7.30957	2016-05-13 00:46:31.500	10.25	20.04546
26	112.699275	-7.30957	2016-05-13 00:46:32.500	11.1	24.63802
27	112.699275	-7.30957	2016-05-13 00:46:33.500	11.3	25.15363
28	112.699275	-7.30957	2016-05-13 00:46:34.500	11.8	28.16093
29	112.699275	-7.30957	2016-05-13 00:46:35.500	13.7	29.161
30	112.699275	-7.30957	2016-05-13 00:46:36.500	18.65	31.25551
31	112.699275	-7.30957146	2016-05-13 00:46:37.500	15.1	29.52384
32	112.699275	-7.30957167	2016-05-13 00:46:38.500	14.15	29.16106
33	112.699275	-7.30957167	2016-05-13 00:46:39.500	12.95	28.16093
34	112.699275	-7.30957167	2016-05-13 00:46:40.500	10.9	23.83083

35	112.699275	-7.30957167	2016-05-13 00:46:41.500	10.6	21.63888
36	112.6992717	-7.30957	2016-05-13 00:46:47.500	10.8	23.75863
37	112.6992717	-7.30957	2016-05-13 00:46:48.500	11.15	24.58364
38	112.6992717	-7.30957	2016-05-13 00:46:49.500	11.4	25.57786
39	112.6992701	-7.30957	2016-05-13 00:46:50.500	11.5	27.75555
40	112.69927	-7.30957	2016-05-13 00:46:51.500	13.15	28.16106
41	112.6996834	-7.30801764	2016-05-13 04:23:43.500	16	29.40034
42	112.6996735	-7.30798777	2016-05-13 04:23:44.500	11.7	28.81176
43	112.6996175	-7.30794878	2016-05-13 04:23:46.500	11.85	28.61928
44	112.699527	-7.30794	2016-05-13 04:23:48.500	17.9	30.4702
45	112.6994247	-7.30793698	2016-05-13 04:23:50.500	16.25	29.62913
46	112.6993698	-7.30793388	2016-05-13 04:23:51.500	17.25	30.24589
47	112.6992446	-7.30792726	2016-05-13 04:23:53.500	17.6	30.31053
48	112.6991781	-7.30792436	2016-05-13 04:23:54.500	12.65	28.16039
49	112.6989293	-7.30791181	2016-05-13 04:23:58.500	19.75	34.79011
50	112.6988657	-7.30790923	2016-05-13 04:23:59.500	20	35.27934

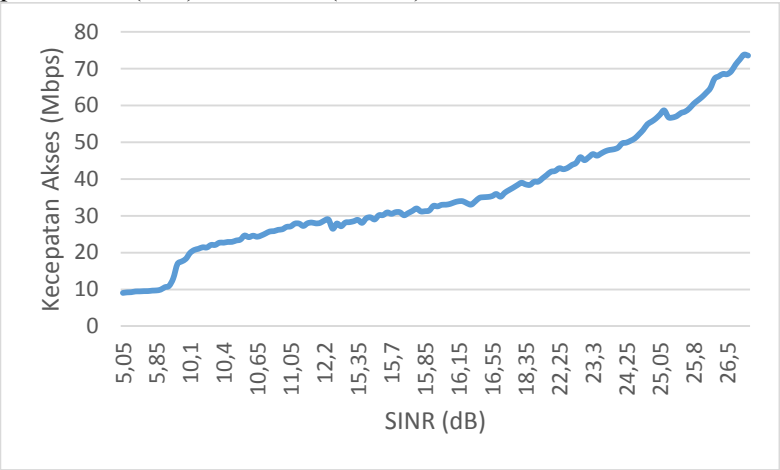
Tabel 6. Data pada *Range SINR 20-30 dB*

<i>No</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Date time</i>	<i>Serving PCC SINR_DL WIYUNG GRAHA FAMILY</i>	<i>PDCP Throughput DL_DL WIYUNG GRAHA FAMILY</i>
1	112.69761	-7.307885	2016-05-13 00:58:37.500	28.3	67.17457
2	112.69761	-7.30787833	2016-05-13 00:59:05.500	24.8	38.50766
3	112.69761	-7.30787833	2016-05-13 00:59:10.500	26.75	59.83015
4	112.69761	-7.30787689	2016-05-13 00:59:12.500	25.8	50.15616
5	112.6976083	-7.30787833	2016-05-13 00:59:20.500	26.75	60.70509
6	112.6975967	-7.30787833	2016-05-13 01:03:56.500	28.3	68.91888
7	112.6975933	-7.30787	2016-05-13 01:04:11.500	26.35	54.50049
8	112.697595	-7.30786167	2016-05-13 01:05:27.500	28.15	66.19376
9	112.6976017	-7.30787667	2016-05-13 01:06:10.500	26.35	54.93298
10	112.6976017	-7.30787667	2016-05-13 01:06:13.500	26.5	57.44077
11	112.6976033	-7.30787667	2016-05-13 01:06:29.500	28.05	65.55098
12	112.6966341	-7.30765142	2016-05-13 01:08:38.500	24.95	42.24877
13	112.6962032	-7.30753593	2016-05-13 01:08:53.500	25.15	45.34483
14	112.6961564	-7.30752577	2016-05-13 01:08:54.500	24.35	35.79388
15	112.69658	-7.30759	2016-05-13 01:14:41.500	26.8	61.26649
16	112.6965783	-7.30758833	2016-05-13 01:14:51.500	25.35	48.72905
17	112.6965783	-7.30758833	2016-05-13 01:14:54.500	25.4	49.62983
18	112.6965778	-7.30758833	2016-05-13 01:15:00.500	24.8	39.93592
19	112.6965783	-7.30758833	2016-05-13 01:15:07.500	27	62.31806
20	112.6965767	-7.30758833	2016-05-13 01:15:09.500	25.1	44.75038

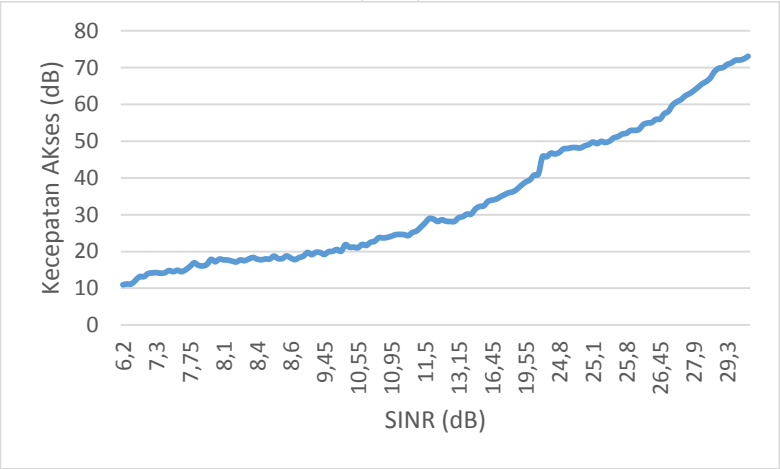
21	112.6965783	-7.30758833	2016-05-13 01:15:14.500	25.15	45.93863
22	112.69658	-7.30758833	2016-05-13 01:15:17.500	25.3	47.91511
23	112.6965783	-7.30759	2016-05-13 01:15:39.500	25.85	51.89268
24	112.6965733	-7.30761833	2016-05-13 01:34:59.500	25.15	46.64801
25	112.6965733	-7.30761833	2016-05-13 01:35:00.500	24.9	41.3507
26	112.6965733	-7.30761833	2016-05-13 01:35:02.500	24.75	37.73676
27	112.69657	-7.30761833	2016-05-13 01:35:14.500	24.95	42.13012
28	112.6965677	-7.30762229	2016-05-13 01:35:21.500	24.35	36.73292
29	112.6965633	-7.307625	2016-05-13 01:35:35.500	26.45	56.0044
30	112.6965637	-7.30762167	2016-05-13 01:35:43.500	24.95	42.70154
31	112.6965633	-7.30762	2016-05-13 01:35:48.500	26.2	53.19164
32	112.6965629	-7.30761833	2016-05-13 01:35:53.500	24.85	40.9001
33	112.6965617	-7.307615	2016-05-13 01:36:01.500	25.85	52.02622
34	112.6965633	-7.30761	2016-05-13 01:36:16.500	25.2	47.03523
35	112.6965633	-7.30761	2016-05-13 01:36:17.500	26.7	58.10052
36	112.696565	-7.30760833	2016-05-13 01:36:27.500	25	43.56716
37	112.6965647	-7.30760833	2016-05-13 01:36:29.500	24.85	40.89692
38	112.6974717	-7.30781181	2016-05-13 01:38:12.500	29.3	70.85129
39	112.6974648	-7.30782291	2016-05-13 01:39:01.500	30	73.08349
40	112.697465	-7.307815	2016-05-13 01:39:26.500	29.7	72.06051
41	112.69747	-7.30781	2016-05-13 01:39:43.500	28.85	70.00929
42	112.6974686	-7.30780833	2016-05-13 01:39:46.500	29.6	71.99308
43	112.6974683	-7.30780667	2016-05-13 01:39:54.500	29.7	72.37425

44	112.6974683	-7.307805	2016-05-13 01:40:01.500	28.4	69.80784
45	112.6974683	-7.30780523	2016-05-13 01:40:02.500	26.35	55.07198
46	112.697465	-7.3078	2016-05-13 01:43:35.500	29.35	71.26955
47	112.697465	-7.3078	2016-05-13 01:43:42.500	28	64.57698
48	112.6974648	-7.3078	2016-05-13 01:44:10.500	27.05	62.90038
49	112.699535	-7.307935	2016-05-13 01:48:30.500	26.4	55.90053
50	112.6995367	-7.30792827	2016-05-13 01:48:36.500	27.9	63.67023

Lampiran 3. Grafik Perbandingan SINR dengan Kecepatan Akses pada set A (atas), dan set B (bawah)

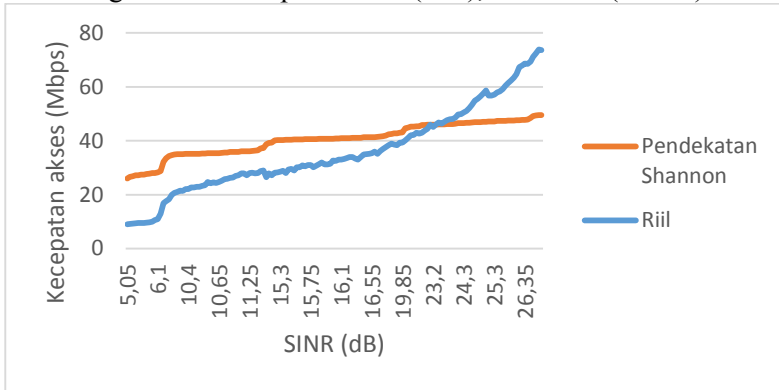


(Atas)

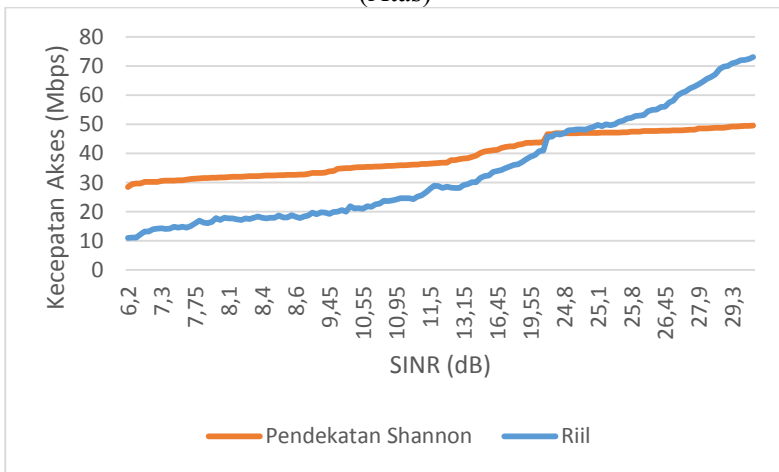


(Bawah)

Lampiran 4. Grafik perbandingan hasil kecepatan akses secara teori dengan secara riil pada set A (atas), dan set B (bawah)

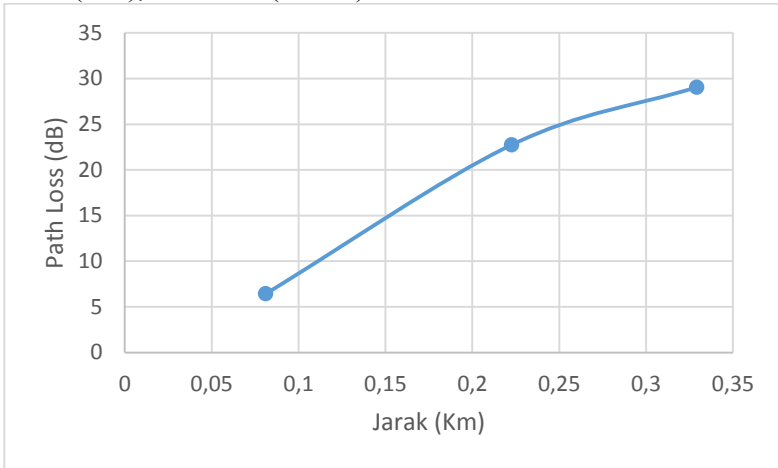


(Atas)

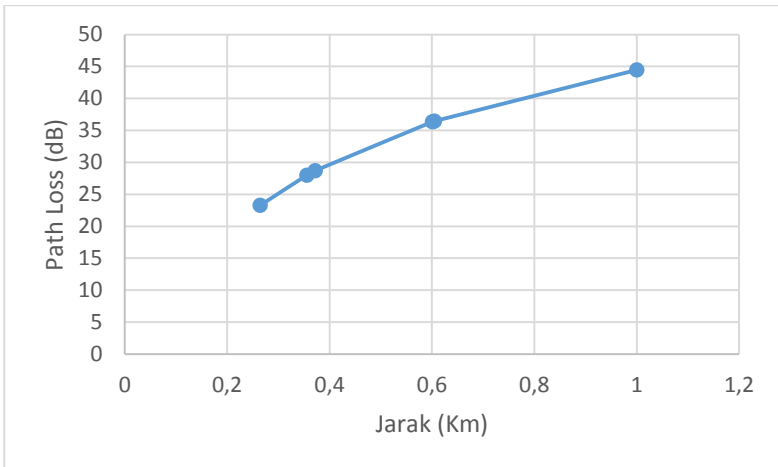


(Bawah)

Lampiran 5. Grafik perbandingan *Path Loss* dengan Jarak pada set A (atas), dan set B (bawah)

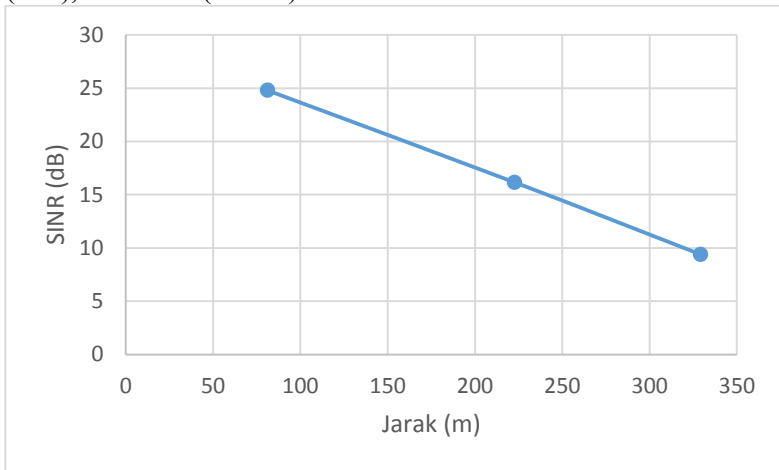


(Atas)

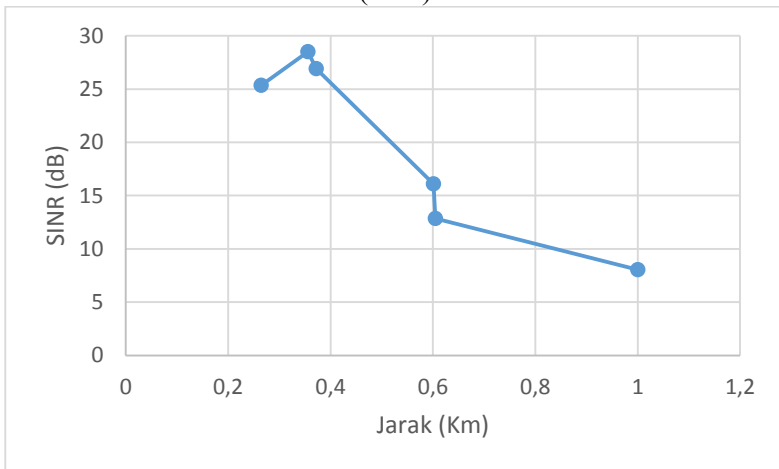


(Bawah)

Lampiran 6. Grafik perbandingan SINR dengan Jarak pada set A (atas), dan set B (bawah)



(Atas)



(Bawah)

”Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Fadil Adam Surya Basril atau biasa dipanggil Fadil atau Adam, lahir di kota Jakarta pada tanggal 31 Juli 1994 merupakan Putra ketiga dari berempat bersaudara. Penulis lahir dari pasangan Bapak Besnedi SE. AK, dan Ibu Sri Hayani. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD Islam Amaryllis, Cibubur pada tahun 2006. Kemudian Penulis melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 91 Jakarta dan tamat pada tahun 2009. Penulis melanjutkan pendidikannya di SMA Negeri 99 Jakarta dan lulus pada tahun 2012. Setelah tamat SMA, penulis hijrah ke propinsi Jawa Timur dan diterima di jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, pada tahun 2012 yang terdaftar dengan NRP 1112 100 072. Dijurusan Fiska ini, penulis menggeluti bidang minat Fisika Instrumentasi dan Elektronika, serta bidang minat Optoelektronika. Selama Perkuliahan penulis aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan ITS *Astronomy Club* (IAC), sebagai wakil-ketua IAC periode 2014-2015. Penulis juga mengikuti kegiatan organisasi kemahasiswaan UKM *Maritime Challenge*, sebagai anggota. Untuk keterangan lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email penulis berikut: fadiladamsb@gmail.com